Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Einwirkung strömender Elektricität auf die Bewegung des Protoplasma, auf den lebendigen und todten Zelleninhalt, sowie auf materielle Theilchen überhaupt.

Von Dr. **Wilhelm Velten.**

(Mit 1 Tafel.)

(Aus dem pflanzenphysiologischen Laboratorium der k. k. forstlichen Versuchsleitung in Wien.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 20. Juli 1876.)

II. Theil.

Einfluss des galvanischen Stromes auf den todten Zelleninhalt.

§. 1.

Vorbemerkungen und geschichtlicher Rückblick.

Wie ich bereits in der Einleitung zu der obigen Abhandlung erwähnte, war meine einzige Hoffnung noch, die Kenntniss der vitalen Bewegungserscheinungen wesentlich fördern zu können die, die Beziehung der Elektricität zu der letzteren zu erforschen. Ich war bei meinen Untersuchungen an einem Punkte angekommen, wo ich wissen musste, warum das Protoplasma sich bewegt, und ich hatte einigen Grund zu vermuthen, dass die Ursache der Bewegung eine elektrische sei.

Das Phänomen der vitalen Bewegungsfähigkeit des Zelleninhaltes und der Zelle selbst, so räthselhaft es scheinen mochte, konnte unmöglich durch eine fremde, uns unbekannte Kraft zu Stande kommen. Die Überzeugung, dass das Problem der Bewegung lösbar, und sei die Lösung auch nur in Gestalt einer wahrscheinlichen Hypothese, gab mir die Kraft, den Gegenstand so lange festzuhalten, bis er mir eine bestimmtere Antwort auf meine Fragen gab.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nach zahlreichen misslungenen Versuchen, welche sich das oben bezeichnete Ziel gesetzt hatten, war es mir bereits vor einigen Jahren mit einemmal geglückt, eine Thatsache kennen zu lernen, welche meinen Arbeiten einen bestimmten Weg anwies und von da an gestattete, die Fragen etwas strenger zu stellen.

Diese Thatsache bestand darin, dass, wenn ich eine Haarzelle von *Cucurbita Pepo* auf meinen elektrischen Objectträger brachte und durch dieselbe einen starken Inductionsstrom gehen liess, in vereinzelten Fällen eine Rotation des abgestorbenen festen Zelleninhaltrestes auftrat, welche äusserlich einen ganz erträglichen Vergleich mit der vitalen Rotation, wie wir sie in älteren Charenzellen finden, zuliess.

Diese Rotation sah ich ihre Richtung in die umgekehrte einschlagen, wenn ich den elektrischen Strom wendete. Die Bewegung selbst hörte beim Öffnen des galvanischen Stromes momentan auf; sie konnte daher kein secundäres Phänomen sein; sie war direct bedingt durch Elektricität.

In Folge dieses Resultates lernte ich auch noch eine Reihe anderer, theils mehr physikalischer, theils mehr physiologischer Erscheinungen kennen, welche den Ausgangspunkt für mehrere Detailuntersuchungen bildeten.

Früher hatte ich gerade die wichtigsten Experimente sehr wenig in meiner Gewalt und so kam es, dass längere Zeit darüber hinging, bis ich das Material beherrschen lernte. Ich glaube jetzt so weit gekommen zu sein, es wagen zu können, mit meinen diesbezüglichen Untersuchungen vor die Öffentlichkeit zu treten.

Ich beginne mit einem geschichtlichen Überblick über unseren Gegenstand, und mit Rücksicht darauf, dass die Literatur so sehr arm an positivem Material in fraglicher Richtung ist, kann ich mir es umsomehr erlauben, theilweise wenigstens den Wortlaut der vorhandenen Arbeiten wiederzugeben.

Wenn man den lebendigen Zelleninhalt durch elektrische Ströme getödtet hat und die letzteren gerade diejenige Intensität besassen, um eben den Tod sicher hervorzurufen, so bedarf es nur noch eines geringen Zuwachses der Stromstärke, um den Zelleninhalt in häufigen Fällen wenigstens nach derjenigen

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wand der Zelle wandern zu sehen, welche dem positiven Pole zugekehrt ist.

Dieses Phänomen ist von Heidenhain entdeckt und war dieser Fund Veranlassung zu eingehenden Arbeiten, welche sich mit der Bewegung fester in Flüssigkeiten suspendirter Körperchen unter dem Einflusse strömender Elektricität beschäftigen.

Jürgensen[1] beschreibt die Heidenhain'sche Erscheinung folgendermassen: „Lässt man den Strom einer, etwa aus sechzehn kleinen Grove'schen Elementen bestehenden Kette durch ein Blattstück der *Vallisneria* in der Längsrichtung desselben gehen, so bemerkt man bald eine auffallende Veränderung der dasselbe constituirenden Zellen. Eine 300fache Vergrösserung genügt, um die Beobachtung machen zu können. Man sieht, wie das sogenannte Protoplasma der Botaniker mit den dasselbe erfüllenden geformten Massen, Chlorophyll, und um den nicht näher zu definirenden Körperchen sich unter dem Einflusse der strömenden Elektricität von der eigentlichen Zellwand zurückzieht und damit das Leben der Zelle endet. Bei länger dauernder Schliessung der Kette häuft sich die ganze Masse an der einen kurzen Wand der rechteckigen Zellen an, wie es aus dem Mangel an Chlorophyll an der entgegengesetzten Zellenwand und den sich scharf absetzenden Contouren gegen die Mitte der Zelle deutlich erkannt wird. Es zeigt sich, dass diese Zellwand stets die gegen den positiven Pol der Säule gerichtet ist, dass also eine Verschiebung vom negativen zum positiven Pole stattgefunden hat.

Beim Öffnen der Kette findet eine wohl durch die Elasticität der die Chlorophyllkörnchen umhüllenden schleimigen Massen bedingte pralle Spannung der Stücke statt: die ganze Masse macht eine rasche, kurz dauernde Bewegung gegen die gegenüberstehende freie Zellwand, erreicht sie indess nie. Bei erneuertem Schliessen fliegen die Chlorophyllkörnchen von neuem nach der Seite des positiven Poles hin, um beim Öffnen wiederum ein Stück zurückzuprallen. Wechsel der Pole hat eine Umkehr der

[1] Jürgensen, „Über die Bewegung fester, in Flüssigkeiten suspendirter Körper unter dem Einflusse des elektrischen Stromes.“ Müller's Archiv. 1860, p. 673.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Richtung der Bewegung zur Folge; diese geht also stets vom negativen zum positiven Pol vor sich."

Dieselbe Erscheinung wurde an den Stärkekörnchen der Kartoffelzellen von Du Bois-Reymond[1] beobachtet. Derselbe sagt hierüber Folgendes: „Ich habe diese Erscheinung namentlich in sehr auffallender Weise an den Stärkekörnchen im Innern der Kartoffelzellen gesehen, welche, wo sie hinreichend lose lagen, mit der vollkommensten Regelmässigkeit, sobald der Strom geschlossen wurde, sich an die Eintrittswand drängten, sobald er umgelegt wurde, sich nach der neuen Eintrittswand begaben, kurz mit der Wippe, so zu sagen, hin- und herpendelten, so dass man so gewiss, wie aus der Ablenkung der Magnetnadel die Richtung des negativen Stromes aus seiner anaphorischen Wirkung auf die festen Theilchen würde bestimmen können".

Diese Beobachtung wurde durch Munk bestätigt. Munk sagt in einer Anmerkung seiner Schrift (Untersuchungen über das Wesen der Nervenerregung, I. Band, pag. 462): „Ich habe in den Kartoffelzellen bei den Strömen einer 4—10gliederigen Grove'schen Säule die Amylumkörner ausschliesslich im Sinne der negativen Elektricitätsströmung sich fortbewegen sehen, wie es auch von Du Bois-Reymond angegeben ist."

Eine kurze Bemerkung über das Wandern des Zellinhaltes macht ferner Kühne[2]. An der betreffenden Stelle heisst es: „Häufig sieht man ferner, namentlich in den grünen Zellen (die ursprünglich violetten Zellen werden durch den elektrischen Strom an der negativen Elektrode grün) der Staubfadenhaare von *Tradescantia virginica* den körnigen Inhalt, der den Kern einschliesst, nach dem positiven Pole hintreiben, so dass in allen Zellen der grösste Theil des Inhaltes in einer dem positiven Pole zugewandten Ecke sich ansammelt."

---

[1] Du Bois-Reymond, „Über den secundären Widerstand; ein durch den Strom bewirktes Widerstandsphänomen an feuchten porösen Körpern." Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch. 1860, p. 895. Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik. Band I, 1875, p. 120.

[1] Kühne, Die Bewegungserscheinungen in den Zellen der Staubfadenhaare der *Tradescantia virginica*. Untersuchungen über das Protoplasma. 1864, p. 99.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Werfen wir einen Blick auf die thierphysiologische Literatur, so sind es zwei Beobachtungen, die mit der Bewegung von Theilchen durch den elektrischen Strom zusammenzuhängen scheinen.

Erstens zeigt nach Kühne [1] ein zwischen zwei Elektroden liegender Muskel wellenförmige, gegen die negative Elektrode fortschreitende Anschwellungen, welche wieder beim Umdrehen des Stromes zurücklaufen. Kühne bringt dieses Verhalten im Zusammenhang mit der Fortführung der Muskelflüssigkeit in der Richtung des positiven Stromes.

Eine andere wichtige Beobachtung rührt von Du Bois-Reymond [2] her. Derselbe nahm bei Eiweisscylindern, welche zwischen zwei Elektroden aufgestellt waren, beim Durchleiten eines elektrischen Stromes Anschwellungen an dem der negativen und Zusammenschnürungen an dem der positiven Elektrode zugewandten Ende wahr. Diese Erscheinung wird klar, wenn man sich vorstellt, dass das Wasser des Eiweisscylinders rascher in der Richtung des positiven Stromes wandert, als die äusserlich mit dem Eiweiss in Berührung stehende Kupfervitriollösung nachrücken kann; diese Annahme ist gerechtfertigt, weil man weiss, dass die verschiedenen Elektrolyte umsomehr der Fortführung im Strome unterliegen, je schlechter sie leitend sind.

Andere Arbeiten, wie beispielsweise diejenigen Engelmann's, über die Hautdrüsen des Frosches [3], haben für uns nur indirecten Werth, insoferne sie sich nicht mit der directen Beobachtung der Fortführung von Zellenmaterie durch den elektrischen Strom befassen, sondern nur umgekehrt die Fortführung durch die Zelle als eine feststehende Thatsache betrachten und nun auf Grund des Baues der Zellen und des mit ihm in Zusammenhang stehenden elektromotorischen Verhaltens eine elektromechanische Theorie der Hautsecretion aufbauen. Ich bin daher mit den direct beobachteten Thatsachen zu Ende.

---

[1] Kühne, Müller's Archiv. 1860, p. 542.

[2] Du Bois-Reymond, Monatsber. d. Berl. Akad. 1860, p. 885 u. Ges. Abhandlungen zur Muskel- und Nervenphysik. 1875, Bd. I. pag. 104 und 112.

[3] Th. W. Engelmann, Pflüger, Archiv für Physiologie. Bd. VI, p. 97—157.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Es sei nur noch erwähnt, dass Becquerel[1] sich die Frage gestellt hat, ob der Bewegung der Charenlymphe ein elektrischer Ursprung zukomme. Er umwand eine Charenstammzelle schneckenförmig mit einem Drahte, und obgleich er den Strom von bis zu 30 Elementen durch den Draht gehen liess, erreichte er keine Wirkung. Er schloss daraus, dass die Bewegung nicht durch Elektricität, sondern durch eine besondere Kraft, welche uns noch ganz unbekannt ist, verursacht werde.

Später versuchte Dutrochet[2], ob der Magnetismus auf die Zelleninhaltsbewegung der *Chara vulgaris* einwirke. Er brachte einen Charenstamm zwischen die Pole eines hufeisenförmigen Magneten, welcher durch eine Bunsen'sche Batterie von 50 Elementen angeregt wurde; unter keinen Umständen bemerkte er hierbei eine Einwirkung. Dutrochet zieht ebenfalls den Schluss, dass die vitale Kraft, welche die Rotation verursacht, nichts weniger als eine elektrische Kraft sei. Er sagt: „Il faut reconnaître que la force vitale est une force sui generis sur la nature, sur les rapports, sur le mécanisme, de laquelle nous ne possédons aucune notion.

§. 2.

Vergleichender Blick auf die elektrischen Bewegungen materieller Theilchen in Zellen einerseits und in Glasröhren andererseits.

Wenn wir den Thatbestand, wie er sich aus dem Vorigen ergeben hat, zusammenhalten mit dem, was wir insbesondere durch Wiedemann[3], Quinke[4], Jürgensen[5] genauer an materiellen Theilchen, die dem elektrischen Strome ausgesetzt sind, kennen gelernt haben, so möchte es scheinen, als sei es ein

[1] Becquerel, Comptes rendus. T. V, p. 784, 1837.

[2] Dutrochet, Comptes rendus. T. XXII, p. 619, 1846.

[3] Wiedemann, Pogg. Ann. Bd. LXXXVII, pag. 321. 1852. — Pogg. Ann. Bd. XCVIII, p. 8, 1856.

[4] Quinke, Über die Fortführung materieller Theilchen durch strömende Elektricität. Pogg. Ann. Bd. CXIII, p. 513. 1861.

[5] Jürgensen, Reichert und Du Bois-Reymond, Archiv, pag. 673 1860.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ganz klar gestelltes Gesetz, dass in allen Fällen, in der Zelle sowohl als in der Glasröhre, bei genügend starken Stromintensitäten feste Partikelchen, wie Stärke beispielsweise in Wasser suspendirt, stets im Sinne des negativen Stromes fortgeführt würden, während das Wasser der Zelle oder der Röhre immer mit dem positiven Strome sich vorwärts bewegte.

Ich will hier nur kurz die von den genannten Autoren aufgefundenen, in allen Fällen jedenfalls genauer festgestellten Thatsachen skizziren. Jürgensen und namentlich Quinke haben die Fortführung materieller fester, im Wasser suspendirter Theilchen genauer studirt und sind zu dem Resultat gekommen, dass solche Theilchen durch den negativen Strom fortbewegt werden, vorausgesetzt, dass die Stromesintensität nicht zu gering ist. Von einer grossen Anzahl geprüfter Substanzen machte lediglich der Schwefel eine Ausnahme. Der Schwefel bewegte sich im Sinne des positiven Stromes. Bei schwachen Strömen gingen nach Quinke suspendirte Stärkepartikelchen an der Röhrenwand im Sinne des positiven, in der Mitte der Röhre aber im Sinne des negativen Stromes.

Die Fortführung des Wassers im Sinne des positiven Stromes wurde durch Wiedemann entdeckt und auf's Eingehendste erforscht. Diese Untersuchung fand ihre Bestätigung ebenfalls in einer Arbeit Quinke's, welche zuerst in den Monatsberichten der Berliner Akademie veröffentlicht wurde und sich in der unten citirten Arbeit wieder findet.

Die genannten Untersuchungen sind von solcher Präcision, dass wir geneigt sind, diesen Resultaten eine ganz allgemeine Bedeutung beizulegen und vor allem anzunehmen, dass es keinem Zweifel mehr unterliegt, dass bei grösseren Stromstärken im Wasser suspendirte Stärke und andere Körperchen in Zellen sowohl als in Röhren dem positiven Pole zuwandern.

Doch werden wir in diesem Berichte, sowie in einem der folgenden eine Reihe von Thatsachen kennen lernen, welche nicht in Übereinstimmung sich befinden mit dem bis jetzt Bekannten und ich hoffe, dass es mir hier schon gelingen werde, zu zeigen, dass das Gebiet der Fortführung materieller Theilchen durch den elektrischen Strom eine bei weitem grössere Tragweite besitzt als man sie bisher ahnen mochte. Wir werden

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

auch sehen, dass die beobachteten Thatsachen auf dem Gebiete der Zelleninhaltsbewegungen, welche von Heidenhain, Jürgenson, Du Bois-Reymond, Munk etc. herrühren, nur Specialfälle sind einer Summe gesetzmässiger Erscheinungen, welche sich durch die Wirkung des elektrischen Stromes in der Zelle vollziehen.

§. 3.

Versuchsmaterial.

Wenn wir einen elektrischen Strom von grösserer Stromstärke durch die Zelle gehen lassen, und ich halte mich vorläufig lediglich an die Pflanzenzelle, so lassen sich je nach der Stromstärke, je nach der Stromesdichtigkeit, je nach der Gestalt und Art der Zelle, je nach der chemischen oder physikalischen Beschaffenheit des Zelleninhaltes eine Reihe mehr oder weniger verschiedenartiger Erscheinungen beobachten, welche ich speciell darlegen will, und so weit dies angeht, werde ich nicht ermangeln, die Umstände und Versuchsbedingungen anzugeben, unter denen das eine oder andere Resultat eintritt.

Ich will mich hier zunächst an die Blattzellen der *Elodea canadensis* wenden, in der Hauptsache nur desshalb, weil ich mit keinem Objecte so vertraut bin, wie gerade mit diesem; es konnten mir desshalb auch hier am wenigsten fremdartige Vorgänge entgehen. Die Gelegenheit wird sich ohnedies bieten von diesem Objecte aus, auch den Blick auf andere zu werfen und ich werde nicht verfehlen, später auch das Verhalten des Inhalts anderer Zellen gegen den elektrischen Strom zu besprechen.

Es seien zuvor die morphologischen und physiologischen Eigenschaften des *Elodea*-Blattes kurz beschrieben.

Das Blatt ist aus zwei übereinandergelagerten einfachen Zellenschichten zusammengesetzt. Die morphologisch obere Schichte besteht aus geräumigen, parallelepipedischen Zellen, während die untere Schichte zwar ebenfalls parallelepipedische Zellen besitzt, aber die letzteren sind schmäler und etwa nur halb so breit, dafür aber länger wie die der Oberseite. Die Zellen haben oben und unten einen zur Blattaxe parallelen Verlauf; nur am Blattgrunde und an der Blattspitze convergiren

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

die Reihen einigermassen. Die Wand des Blattes besteht nur aus einer einzigen Zellenreihe. Die Mittelrippe des Blattes, welche ein Gefässbündel vertritt, ist mehrschichtig und ihre Zellen sind sehr lang und im Verhältniss zu den eigentlichen Blattzellen sehr schmal.

Die grösste Axe sämmtlicher Zellen ist, wenn auch bei weitem nicht ausnahmslos, parallel der Blattaxe und die vorhandenen Intercellularräume ziehen sich gleichfalls parallel der Axe zwischen den Zellen hindurch.

Bei solcher Beschaffenheit des Blattes ist es erklärlich, dass das Object, ohne es im geringsten mit dem Messer zu verletzen, durch das Mikroskop für das Auge aufgeschlossen werden kann.

Der Inhalt der Zellen besteht aus dem Primordialschlauche, welcher stets in Ruhe die Zellwand auskleidet, aus Protoplasma, welches zahlreiche winzige Körnchen enthält, aus dem Zellkerne und den mehr oder weniger mit Stärkekörnern erfüllten Chlorophyllkörnern, die häufig eine bisquitförmige Einschnürung zeigen, daher in Theilung begriffen sind, endlich aus der Intracellularflüssigkeit, in welcher gelegentlich organische oder unorganische Partikelchen suspendirt sein können.

Vegetirt die Pflanze ruhig, geschützt gegen jedwede gröbere Einwirkung ganz beliebiger äusserer Agentien und bringen wir sie nun unter das Mikroskop, so beobachten wir bei unseren Blattzellen, dass das Protoplasma und die Chlorophyllkörner ganz gleichmässig, die letzteren in gleichem Abstande von einander, die nach aussen gekehrten Zellwände tapezieren, während der übrige Theil der Zelle frei oder ziemlich frei ist von Inhaltskörpern. Die Chlorophyllkörner und das Protoplasma befinden sich dann in Ruhe oder in annähernder Ruhe.

Ein anderes Bild gewähren die Zellen, wenn das Blatt mechanischen Eingriffen, Temperaturschwankungen, starker Insolation u. s. w. ausgesetzt wird, dann tritt alsbald in erster Linie das zwischen den Chlorophyllkörnern liegende Protoplasma in Bewegung; die feinen Protoplasmakörnchen zeigen Glitschbewegung und nun fangen auch die Chlorophyllkörner an, ihre bisherige Stellung zu verlassen. Aus der Glitschbewegung wird glitschartige Circulation, Circulation selbst, dann circulationsartige Rotation, schliesslich Rotation.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Diese Ausdrücke, theilweise neu, bedürfen einer Auseinandersetzung, für welche der folgende Paragraph dienen soll, den ich in der Hauptsache indess nur desshalb einschiebe, um einem grösseren Theile der Gelehrten diese Abhandlung dem Verständniss zugänglicher zu machen.

Wann die Bewegungserscheinung in der Reihenfolge, wie ich sie eben bezeichnet habe, eintritt oder wann direct Rotation sofort entstehen kann u. s. w., endlich wann besondere Arten dieser Bewegungsformen mehr oder weniger dauernd eintreten, das zu untersuchen, kann hier nicht unsere Aufgabe sein, umsomehr, als wir über das Wesen dieser Erscheinungen zunächst noch gar nichts Sicheres wissen.

Ich wende mich im Folgenden in der Hauptsache an solche Blätter, resp. Blattzellen, deren Chlorophyllkörner reichlich mit Stärke erfüllt sind; solche Chlorophyllkörner sind dann nicht wie gewöhnlich linsenförmig und schön grün gefärbt, sondern sie sind entsprechend dem Wachsthume des Stärkekornes mehr kugelig, grösser und haben nur mehr einen grünen Stich. Solche wohlausgebildete Stärkekörner müssen wir uns überzogen denken von einer dünnen, schwach grüngefärbten Protoplasmalage, die die Grundmasse des Chlorophylls oder des Chlorophyllkornes darstellt. Ich wende mich an diese Inhaltsgebilde, weil nach meinen Beobachtungen kein Zelleninhaltskörper so leicht und so sicher der bewegenden Wirkung des elektrischen Stromes Folge leistet, als wie dieses.

Wir werden aber von vorn herein nicht den Schluss ziehen dürfen, dass desshalb unsere ganze Untersuchung für die Physiologie weniger Werth hat, da wir an Stärkekörnern gerade bei vitalen Bewegungserscheinungen eine bei weitem geringere Beweglichkeit beobachten, wenn wir zwischen ihnen und einer Anzahl anderer Theilchen einen Vergleich ziehen, denn nehmen wir a priori an, die vitale Bewegung sei elektrischer Natur, so dürfen wir nicht erwarten, dass sie nach den einfachen Gesetzen vor sich gehe, wie wir sie an einigen Materien in der todten Zelle sowohl als wie in der Glasröhre bereits kennen gelernt haben.

Der Umstand, dass die Zelleninhaltsgebilde im Leben eine verschiedene, theils sehr verschiedene Beweglichkeit zeigen,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

weist eben von vorn herein darauf hin, dass entweder die elektrischen Ströme an verschiedenen Punkten einen differenten Werth der Stromstärke besitzen, oder dass dieselben je nach ihrer physikalischen oder chemischen Beschaffenheit leichter oder schwerer sich durch den elektrischen Strom bewegen, oder dass sie mit elektrolytischen Substanzen durchtränkt oder nicht durchtränkt sind, was auf die Geschwindigkeit ihrer eigenen Bewegung nicht ohne Einfluss bleiben kann.

Derartige Verschiedenheiten, wie die letztgenannten insbesondere werden sich nach dem Tode der Zelle ausgleichen oder verändern, und es werden die Bewegungserscheinungen gegenüber einer äusseren elektrischen Ursache sich nicht in derselben Weise geltend machen, wie dies im Leben der Fall war. Seitdem Nägeli die bedeutungsvolle Thatsache entdeckt hat, dass gewisse Farbstoffe durch das lebende Protoplasma nicht hindurchgelassen werden und dass dasselbe sich erst nach dem Tode mit demselben imbibiren kann, wusste man auch bald, dass das Protoplasma gegen andere Stoffe, welche nicht Farbstoffe sind, undurchlässig ist, und wir können mit Recht schliessen, dass ganz beliebige chemische Individuen entweder gar nicht oder nur in sehr grosser Verdünnung das Protoplasma im Leben passiren können. Im Tode hat dasselbe diesen Widerstand nicht, im Gegentheil, es macht sich noch in manchen Fällen eine enorme Anziehung geltend gegen gleiche Stoffe, welche es im Leben mied. Es ist sogar nicht zu weit gegangen, anzunehmen, dass die Grundmasse des Chlorophyllkornes, der Zellkern etc., sowie die einzelnen Partien des Protoplasma untereinander und unter sich in der Art und dem Grade des Widerstandes gegen gelöste Stoffe differiren und so diese Dinge aufgefasst, wird es begreiflich, dass wir nicht und voraussichtlich niemals im Stande sein werden, die vitalen Bewegungserscheinungen vollkommen der Natur auf künstlichem Wege nachzuahmen; wir werden uns begnügen müssen, wenn uns theilweise eine solche Nachahmung gelingt, die ihrerseits den Fingerzeig abgeben mag für eine Theorie, die ausgebildet genug den Mangel fehlender Thatsachen vergessen macht.

Zu diesem Schlusse sind wir berechtigt, da wir andererseits wissen, dass überhaupt die Fortführung der verschiedenen

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Elektrolyte und der in ihnen suspendirten festen Partikelchen, sowie die grössere oder geringere Beweglichkeit derselben gegenüber dem elektrischen Strome in unmittelbarer Abhängigkeit steht von ihrer Leitungsfähigkeit und die Leitungsfähigkeit sämmtlicher Protoplasmatheile und in ihm suspendirter Körper werden wir voraussichtlich lediglich nur auf indirectem Wege erschliessen können, so dass der Frage nach der Ursache der Protoplasmabewegung nach allem, was wir bis jetzt wissen, nicht auf geradem Wege beizukommen sein wird.

§. 4.

Begriffsbestimmung der vitalen Bewegungsarten.

Da der Physiker gleich interessirt ist wie der Botaniker gegenüber einem Gebiete wie das hier zu behandelnde, so darf ich es nicht umgehen, die Begriffe, welche der letztere gebildet hat, für die von ihm gesehenen vitalen Bewegungsarten, wie Rotation, Circulation, Glitschbewegung u. s. w. zu erklären. Zugleich nahm ich Veranlassung, kurz anzudeuten, auf welchen Standpunkt ich seit meiner ersten Veröffentlichung über diesen Gegenstand gelangt bin. Ich muss indess ausdrücklich bemerken, dass ich der Natur der Sache nach noch zu keiner vollkommen befriedigenden Ansicht über das Charakteristische und Wandelbare sämmtlicher Bewegungsarten, die wir in immer welchen Pflanzenzellen antreffen, gekommen bin. Das Folgende wird aber immerhin dazu beitragen, die Begriffe zu präcisiren, sie zu klären. Eines schien mir unerlässlich, nämlich die Begriffe zu specialisiren. Dies verlangte die fortschreitende Kenntniss der Naturerscheinungen selbst und das immer weitere Eingehen auf ein und denselben Gegenstand.

Es ist mir heute unerklärlich, warum nicht einmal der Begriff der Glitschbewegung, welchen Nägeli zu dem früheren der Rotation und Circulation hinzufügte, von der wissenschaftlichen Welt acceptirt wurde, nachdem die diesbezüglichen Angriffe de Bary's[1] von Nägeli[2] selbst unzweifelhaft abgewiesen worden waren.

---

[1] De Bary, Untersuchungen über die Familie der Conjugaten. 1858, p. 39. — [2] Nägeli, Beiträge zur wissensch. Botanik. II. 1860, p. 84.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ich will zunächst Einiges über die Verbreitung der pflanzlichen Zelleninhaltsbewegungen vorausschicken, welche als wiederkehrende aufzufassen sind. Es scheint ein Gesetz von allgemeinster Geltung zu sein, dass alles Protoplasma während einer gewissen Zeit seines Lebens die Fähigkeit hat, sich zu bewegen, sagte ich pag. 82 meines Aufsatzes „Bau und Bewegung des Protoplasma“ [1], und in der That fand ich bei zahlreichen Versuchen noch keine Pflanzenzelle, in der nicht zum allermindesten Anzeichen für eine gesetzmässige Bewegung wiederkehrenden Charakters vorhanden gewesen wären. Zu dem obigen Ausspruche hatte ich vielleicht zumeist das Recht, insoferne es mir gelungen war, gerade den schönsten Fall der Bewegung, die Rotation, welche bis dorthin nur für ganz wenige Pflanzenzellen bekannt war, an einer grösseren Zahl von Zellen nachzuweisen und sie für eine enorme Anzahl Zellen der verschiedensten Pflanzen bis zur Gewissheit grenzend, wahrscheinlich zu machen. Es gewährte ein nicht geringes Interesse mittelst einer besonderen Methode, welche darin bestand, Gewebsschnitte entweder nach der Präparation äusserst rasch zu beobachten oder sie anstatt mit Wasser mit Gummiarabicumlösung unter das Mikroskop zu bringen, zu erfahren, dass unsere Bäume, Sträucher und Kräuter fast in ihrer gesammten Cambiumregion von der Spitze des Baumes bis zu ihrer tiefsten Wurzel in jeder Zelle eine Rotation des Zelleninhaltes unterhalten oder auch Bewegungsarten des Zelleninhaltes zeigen, welche der eigentlichen Rotation nicht ferne liegen [2]. Ich behalte mir über die Verbreitung der Protoplasmabewegungen, welche mich immer wieder gelegentlich beschäftigen mit Rücksicht darauf, dass diese Untersuchung die Geduld oft auf eine harte Probe setzt, erst für spätere Zeit eine Abhandlung vor.

Die Bewegungen des Protoplasma, welche wir in den verschiedenartigsten Pflanzenzellen sehen, sind nun von ausserordentlicher Mannigfaltigkeit in ihrer äusseren Erscheinung. Dennoch aber kommen ihnen wieder eine ganze Reihe charak-

---

[1] Velten, Regensburger Flora. 1873.

[2] Velten, Botanische Zeitung. 1871 und noch unveröffentlichte Beobachtungen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

teristischer Merkmale gemeinsam zu, so dass wir mit Recht behaupten können, es liege sämmtlichen Bewegungen ein und dieselbe Ursache, mögen wir diese noch so räthselhaft oder auch mit den jetzigen Hilfsmitteln der Wissenschaft für lösbar halten, zu Grunde. Bei der Eintheilung der Bewegungsarten haben wir es daher gar nicht mit der Ursache der Bewegung zu thun, sondern es fragt sich lediglich, auf welchem Wege erhalten wir ein geordnetes Bild dieser complicirten Verhältnisse, welche auf den ersten Blick einen verwirrenden Eindruck hervorzubringen im Stande sind. Diese Eintheilung darf keine theoretische sein; sie muss sich der Natur von Tritt zu Schritt adaptiren.

Vor 104 Jahren beobachtete der Professor der Physik zu Reggio, Bonaventura Corti[1] eine ihm fremde Wasserpflanze mit einem Vergrösserungsglas und bemerkte in ihr — es war eine Chara — eine kreisende Bewegung des Zelleninhaltes. Dies war die erste Entdeckung einer Protoplasmabewegung; er benannte dieselbe Circulation. Diesen Ausdruck verwarf man für die Charenbewegung aber bald und setzte an die Stelle desselben den Namen Rotation, um keinen Zweifel aufkommen zu lassen, dass die pflanzliche Circulation etwa ein Analogon der Circulation des Blutes in den Thieren sei. Unter Rotation verstand und versteht man eine kreisende Bewegung des Zelleninhaltes.

Als die Bewegung des Protoplasma bei *Tradescantia* gefunden und noch weitere Entdeckungen in dieser Richtung gemacht waren, gebrauchte man für diese Erscheinung, welche als fadenförmig durch die Zelle verzweigte, aufgefasst werden kann, den Namen Circulation; oft geschah es, dass man aber auch sie als Rotation bezeichnete. Diese Begriffsverwirrung hatte zur Folge, dass Pflanzen oder Theile derselben in eine Kategorie gestellt wurden, wohin sie gar nicht gehörten. Dazu kam noch das Missverständniss, als wollten die Forscher die Trennung der Rotation und Circulation in dem Wesen des Protoplasma begründet wissen, das dazu führte, dass man theils absichtlich,

---

[1] Corti, Osservazioni sulla tremella e sulla circulazione del fluido in una pianta acquajolla. Lucca, 1774.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

theils unabsichtlich bis in die neueste Zeit ganz nach Belieben den einen oder anderen Ausdruck gebrauchte.

Der bekannte Max Schultze[1] beispielsweise glaubte den von Unger[2] ausgesprochenen Satz: „Ob eine scharfe Unterscheidung der beiden Bewegungsformen des Zellsaftes möglich ist, dürfte noch fraglich sein", so auffassen zu müssen, als ob Unger die Trennung der Begriffe für unnöthig hielt, weil beide Bewegungstypen an ein und derselben Substanz, dem Protoplasma wahrgenommen werden konnten. Auch von Seite der Pflanzenphysiologen wurde nicht immer darauf geachtet, die Begriffe auseinanderzuhalten, trotzdem Nägeli[3] sich bemüht hatte, die Begriffsbestimmungen klarer zu fassen und eine noch weiter gehende Sonderung vorzunehmen als es bis dorthin geschehen war. So spricht Borscow[4] noch im Jahre 1867 von einer regelmässigen Rotation des Plasma bei den Haaren der *Urtica*, und derartige Beispiele gäbe es noch mehr.

Während Frank[5] bei seinen Detailuntersuchungen über die Veränderung der Lage der Chlorophyllkörner sich gezwungen sah, die Begriffe von Rotation und Circulation nach der Definition von Sachs[6] streng auseinanderzuhalten, hat weder er noch sonst irgend Jemand sich bewogen gefunden, den Begriff der Glitschbewegung anzunehmen. Die Nägeli'sche Glitschbewegung ist eine weit einfachere Bewegung von Körnchen oder Protoplasma als wie die Circulation und wurde von ihm an einigen niederen Organismen wahrgenommen[7]. Die Glitschbewegung ist aber nach meinem Dafürhalten eine im Pflanzenreiche weit verbreitete Erscheinung und sie ist ganz gesetzmässig immer da zu finden, wo in Normalstellung befindliche Chlorophyllkörner, zwischen denen sich das Protoplasma in Ruhe befindet, eben aus dieser Normalstellung in Folge eines

---

[1] Schultze, Max. Das Protoplasma. 1863, p. 39.

[2] Unger, Anatomie und Physiologie. 1855, p. 274.

[3] Nägeli, Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik. II. Heft, 1860, pag. 84.

[4] Borscow, Mélanges biologiques. Pétersbourg. 1867. VI.

[5] Frank, Pringheim's Jahrbücher. 1872. VIII. Bd., p. 216.

[6] Sachs, Lehrbuch der Botanik. IV, p. 40.

[7] Nägeli, Pflanzenphysiologische Untersuchungen. 1855, p. 49.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

äusseren Agens oder Reizes heraustreten; ebenso ist sie auch meist combinirt mit der Circulationsbewegung. Frank hat sie oft gesehen; er substituirt sie aber stillschweigend unter den Begriff der Circulation.

Gegen den Begriff der Glitschbewegung hatte sich bald, nachdem die Erscheinung von Nägeli beschrieben worden war, de Bary[1] ausgesprochen. De Bary sagte: „Das ganze Phänomen — nämlich die Protoplasmabewegung bei Desmidiaceen — und somit wenigstens ein grosser Theil der Glitschbewegungen Nägeli's gehört ohne Zweifel in die Classe der so überaus verbreiteten selbständigen Plasmabewegungen. So wenig wie für diese überhaupt, ist uns für die in Rede stehenden die Ursache bekannt". De Bary glaubte demnach, Nägeli wolle zwei Dinge unterscheiden, die in ihrem Wesen unterschieden seien, während Nägeli nur den Begriff der Art der Bewegung erweitert wissen wollte.

Ich gehe nun vom Allgemeinen zum Speciellen über. Bei den Ortsveränderungen des Protoplasma lassen sich zwei grosse Kategorien unterscheiden. Die eine umfasst die Bewegungen eines Protoplasmakörpers, welche zu einer Veränderung des Gesammtumrisses und zur Ortsveränderung des ganzen Gebildes führt, wobei innerhalb dieses Gebildes Bewegungen der zweiten Kategorie vorhanden sein können. Wird bei diesen Ortsveränderungen der Gesammtumriss nicht verändert, so begreifen wir darunter die Bewegungen der Schwärmsporen und Spermatozoiden, bei denen zarte Protoplasmafäden, die Cilien, die Bewegungen des Ganzen bedingen oder begleiten, und wird der Gesammtumriss verändert, so haben wir die Bemerkungen der Mycamöben und Plasmodien, der Monaden etc. Diese Kategorie der Bewegungen fällt ausserhalb des Bereiches unserer Specialbetrachtungen; ich wollte sie aber erwähnen, da sie in naher Beziehung zu denjenigen Bewegungen stehen, die wir unter die zweite Abtheilung substituiren, nämlich die Bewegung des Protoplasma innerhalb einer festeren Hülle, ohne dass dabei der Gesammtumriss normalweise eine Veränderung erfährt.

---

[1] De Bary, Conjugaten. 1858, p. 39.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Es ist bereits zur Genüge angedeutet, dass auch bei diesen Bewegungserscheinungen eine Anzahl Arten derselben sich als typisch erweisen. Je mannigfaltiger diese Bewegungsarten sind, umsomehr sind wir gezwungen, die Bewegungen zu kathegorisiren und aus diesen diejenigen besonders herauszuheben, welche bestimmt charakterisirt sind, während alle übrigen sich zwischen diese einreihen. Es existirt bis jetzt nur eine brauchbare Eintheilung der Bewegungserscheinungen in der Zelle; es ist diejenige Nägeli's[1]. Seine Gliederung bezieht sich auf vier Arten: 1. Die Rotation. 2. Die verzweigte oder fadenförmige Strömung (Circulation). 3. Die Glitschbewegung. 4. Die Tanzbewegung (Molecularbewegung).

Dem heutigen Stande unserer Kenntniss entsprechend, wollen wir die Bewegungserscheinungen in eine grössere Zahl Unterarten zerlegen. Es scheint mir zweckmässig, vorläufig folgende Arten zu unterscheiden:

1. Die Rotation.
2. Die circulationsartige Rotation (syn. die springbrunnenartige Rotation).
3. Die glitschartige Rotation.
4. Die separirte Rotation (Circulation).
5. Die separirte Rotation (Glitschbewegung).
6. Die Circulation (syn. die verzweigte oder fadenförmige Strömung).
7. Die glitschartige Circulation.
8. Die Glitschbewegung.
9. Die organische Molecularbewegung.
10. Die Molecularbewegung (syn. Tanzbewegung, Brown'sche Bewegung).

Die Ausdrücke Rotation und Circulation sind an und für sich nicht gut gewählt, da sie erstens sehr vieldeutig sind und wenn man sie in mathematischem Sinne gebraucht, nichts weniger als auf die Bewegungserscheinungen des Protoplasma passen. Um nicht weitere Verwirrung anzurichten, behalte ich dieselben bei; es kommt in Wissenschaft schliesslich nicht auf den

[1] Nägeli: Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik. Heft II, 1860, pag. 84.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ausdruck an, wenn zur Genüge bezeichnet ist, was derselbe bedeuten soll.

Nägeli[1] definirte die Rotation folgendermassen: Die Rotation geht in einem einzigen in sich zurücklaufenden Strom um die Zelle. — Viele Inhaltsgebilde, die rechts oder links, hinter und vor, über und untereinander liegen, bewegen sich in gleicher Richtung.

Für Charenzellen trifft diese Definition fast genau zu; für die grössere Anzahl von Objecten, bei denen wir von Rotation des Protoplasma reden, ist sie nicht stichhaltig. Nehmen wir eine *Vallisneria*, eine *Elodea* oder eine Cambiumzelle irgend eines Stengels, so fällt uns oft genug auf, dass in dem allgemeinen Strom die Massentheilchen nicht stetig eine einzige Richtung der Bewegung beibehalten, sondern da und dort, bald selten, bald häufig, machen die Theilchen seitliche oder momentane rückläufige Excursionen. Es ist ersichtlich, dass die Kraft, die die Ursache der Rotation abgibt, in den meisten Fällen nicht stetig in einer Richtung wirkt, sondern dass sie hierin variirt. Für uns bleibt aber die Hauptsache, dass der weit grösste Theil des Protoplasma stets in einer Richtung, d. h. vorwärts getrieben wird, dass die ganze Masse in sich zurückläuft.

Sachs[2] nennt diejenige Bewegung Rotation, bei der die ganze Masse des einen Saftraum einschliessenden Protoplasma an der Zellwand wie ein dicker, in sich selbst geschlossener Strom sich hinbewegt und die in ihm enthaltenen Körnchen und Körner mit fortführt. Was die Fortführung der Körnchen und Körner anbelangt, so glaube ich, ist aus meiner Schrift „Activ oder Passiv“[3] zur Genüge hervorgegangen, dass wir über die Selbständigkeit oder Unselbständigkeit der Bewegung von Protoplasma umhüllter Theile durchaus nichts Bestimmtes sagen können, dass wir daher auch nicht wissen, ob Körner oder Körnchen mit fortgeführt werden oder ob sie in gleicher Weise an der Bewegung betheiligt sind wie das eigentliche Protoplasma selbst.

---

[1] Nägeli, Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik. Heft II, p. 84.
[2] Sachs, Lehrbuch der Botanik. IV. Aufl., p. 40.
[3] Velten, Österr. bot. Zeitung. 1876. Nr. 3.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Unter Rotation des Protoplasma verstehe ich diejenige Bewegungsart, bei der dasselbe als breiter Strom in einer meist durch die Gestalt der Zelle bestimmten Richtung den Wänden entlang in sich selbst zurückläuft; die einzelnen Theilchen gehen mehr oder weniger gleichmässig vorwärts; da und dort machen in den meisten Fällen die Theilchen Bewegungen und zwar meist zuckende in anderer Richtung als in derjenigen, welche dem Gesammtstrom vorgeschrieben ist.

Das Protoplasma kann aber auch statt als Band in der Zelle zu rotiren, sich zu einem kugelförmigen Körper zusammenziehen und dieser kann um seine eigene Axe dauernd rotiren. Einen solchen Fall nenne ich Pseudo-Rotation, auf die ich speciell im Paragraph 8 und 9 zurückkommen werde, da ihr ein besonderes Interesse vom elektrischen Standpunkte aus zukommt.

Die springbrunnenartige Rotation (circulationsartige Rotation) ist von Schleiden [1] in den Endospermzellen von *Ceratophyllum demersum* gefunden worden. Bei ihr steigt das Protoplasma als dicker Strang frei durch das Innere der Zelle in die Höhe und zertheilt sich oben angekommen in viele kleine abwärts laufende Strömchen. Ich kann mir über diese Bewegungsart kein Urtheil anmassen, da ich sie noch nie gesehen habe. Es sei nur so viel bemerkt, dass dieselbe nur unter der Voraussetzung als Typus gelten kann, dass die Bewegungen in Wirklichkeit in allen Fällen und dauernd den Forderungen entsprechen, die die obige Beschreibung an sie stellt.

Die glitschartige Rotation. Sind die vorhin bei der Rotation angeführten Zuckungen der Theilchen in beliebiger Richtung häufig, so weist dies darauf hin, dass auch die Kräfte, die das Protoplasma und seine Partikel bewegen, auch anders vertheilt sind wie bei einer exquisiten Rotation. Der Eindruck, den eine solche Bewegung macht, ist daher auch verschieden von dem der gewöhnlichen Rotation. Diese Bewegungsart, von der ich eben spreche, ist ein Mittelglied zwischen der Rotation schlechthin und der Glitschbewegung; ich bezeichnete sie als glitsch-

[1] Schleiden, Beiträge zur Kenntniss d. Ceratophylleen. Linnaea. XI. Band, 1837, p. 528.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

artige Rotation [1] und definirte sie folgendermassen: „Die glitschartige Rotation zeichnet sich dadurch aus, dass das Protoplasma wie bei der Rotation schlechthin an der Wand entlang eine bestimmte Richtung einhaltend in sich selbst zurückläuft, aber eine grosse Zahl einzelner Theilchen gehen zu gleicher Zeit an vielen Stellen eine kleine Strecke rückwärts, obgleich das Protoplasma als Ganzes vorwärts schreitet. Diesen Fall habe ich bis jetzt nur für die Cambiummarkstrahlzellen der *Paria neglecta* beschrieben; er ist aber häufig in der Natur verbreitet.

Die combinirte Rotation (Circulation). Unter ihr verstehe ich diejenige Bewegungserscheinung, bei der innerhalb ein und derselben Zelle gleichzeitig Rotation und Circulation vorhanden sind, wobei aber beide für sich ihre Bewegungen ausführen. So sind beispielsweise Fälle von *Elodea*-Blattzellen bekannt, wo eine Rotation an den schmalen Seitenwänden stattfindet und gleichzeitig durch das Innere der Zelle ziehende, an den breiten Wänden haftende Fäden für sich in Circulation begriffen sind.

Die combinirte Rotation (Glitschbewegung) ist diejenige Bewegungsform, bei der innerhalb ein und derselben Zelle separirt Rotation und Glitschbewegung wahrzunehmen ist. So sah ich bei Charenzellen neben der bekannten Rotation noch Glitschbewegung der innerhalb des relativ ruhenden protoplasmatischen Wandbeleges befindlichen Theilchen. Öfters bemerkt man auch statt einer einfachen Glitschbewegung eine glitschartige Circulation der Theilchen, so dass also mehrere Bewegungsarten in derselben Zelle zusammentreffen können. Es gibt in der That Fälle, wenn sie auch äusserst selten sind, wo man durch Zufall sämmtliche hier beschriebenen Bewegungsarten innerhalb ein und derselben Zelle vereinigt findet.

Die Circulation. Diese Bewegung ist dadurch ausgezeichnet und dies ist auch die geläufige Vorstellung, dass das Protoplasma an der Wand der Zelle in den verschiedensten Richtungen sich bewegt; die einzelnen aber immerhin nicht zu kleinen Partien gehen hin und her; fast in allen Fällen gehen von einer Wand zur anderen Protoplasmafäden frei durch die Intracellularflüssigkeit in verschiedenster Richtung, die ebenfalls die Eigen-

[1] Velten, Bot. Zeitung. 1872, p. 649.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

schaft haben, sich in wechselvoller Richtung zu bewegen, sei es, dass sie dies als Ganzes thun, sei es, dass die einzelnen Theile beliebig weiterrücken. Diese beiden Bewegungen können auch gleichzeitig wahrgenommen werden. Die Bewegungsrichtungen wechseln sehr häufig.

Ich habe mich einmal mit der Frage beschäftigt, ob die Circulation vielleicht doch nur eine modificirte Rotation sei. Dies würde nämlich dann zutreffen, wenn das ganze Protoplasmanetz, trotzdem seine Theile unter sich die verschiedensten Bewegungen ausführen, dennoch seine Fäden in einer einzigen bestimmten Richtung verschöben, so dass das ganze Netz um die Zellenaxe rotirte, welche Rotation begreiflicherweise sehr langsam vor sich gehen müsste, da wir sie nicht auf den ersten Blick sehen. Die Beobachtungen, an den Staubfadenhaaren der *Tradescantia virginica* angestellt, waren von einem negativen Erfolg begleitet.

Die glitschartige Circulation. Wenn sehr kleine Protoplasmapartien oder auch einzelne Körnchen bei der Circulation sich ganz unbekümmert um ihre direct nebenanliegenden Nachbartheile vor- oder rückwärts bewegen und wenn dieser Fall häufig eintritt, so kann man dieses strenge als glitschartige Circulation bezeichnen. Diese Bewegung ist sehr häufig in den Haarzellen beliebiger Gewächse zu finden und sie stellt eine vermittelnde Bewegungsart dar zwischen der exquisiten Circulation und der Glitschbewegung.

Die Glitschbewegung. Von dieser Bewegungsart sprechen wir nach der Nägeli'schen Definition dann, wenn einzelne Theilchen des Protoplasma oder ein oder wenige Körnchen ohne Rücksicht auf alle anderen in den verschiedensten Richtungen Wege durchlaufen, manchmal nur eine Strecke vorgehen und dann wieder an ihren alten Fleck zurückkehren [1]. Nägeli bezieht das Glitschen von Partikelchen nur auf eine Bewegung an Oberflächen plastischer Zelleninhaltskörper. Zahlreiche Beobachtungen zeigen mir, dass die Glitschbewegung an jedem beliebigen Inhaltstheilchen, sei es, dass es sich am Primordial-

[1] Nägeli, Pflanzenphysiolog. Untersuchungen, I. Heft. Beiträge z. wissenschaftl. Botanik, II. Heft und das Mikroskop, 1867, p. 393.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

schlauch, sei es, dass es sich in oder an dem Protoplasma selbst sich befindet, vorkommen kann, dass beliebige Stellen des Protoplasma selbst Glitschbewegung zeigen können, sobald nur die Kräftevertheilung eine sehr zersplitterte ist.

Ich werde auch dann noch von Glitschbewegung sprechen dürfen, wenn isolirte Partikelchen ganz ohne Rücksicht auf alle Nachbartheile innerhalb einer Vacuole oder der Intracellularflüssigkeit nicht nur an festeren Körpern sich hinbewegen, sondern wenn sie auch frei im Wasser hin- und hergehen.

Die organische Molecularbewegung. Wenn Partikelchen nur ganz kurze Strecken sich unabhängig von anderen neben ihnen befindlichen bewegen und dabei gleichzeitig fortwährend noch in einer zitternden Bewegung begriffen sind, wenn sie demnach gleichzeitig eine einfache Glitschbewegung und Molecularbewegung zeigen, dann spreche ich von organischer Molecularbewegung. Die organische Molecularbewegung ist eine im Pflanzenreich weit verbreitete, aber noch wenig gewürdigte Erscheinung; sie findet sich, man kann fast sagen in allen Zellen, welche beginnen, abzusterben.

Die Molecularbewegung von Zelleninhaltspartikelchen sind identisch mit der Brown'schen Bewegung, mit der Molecularbewegung unorganischer Körperchen in Flüssigkeiten, welche kein zu grosses specifisches Gewicht haben.

Sie hat nach den neueren Auffassungen ihre Ursache darin, dass die Resultirende der Schwingungen der Flüssigkeitsmolecüle, die fortwährend statthaben, den in Flüssigkeit suspendirten feinzertheilten Körperchen in verschiedenster Richtung Anstösse ertheilen.

Zwischen den besprochenen Bewegungsarten gibt es alle möglichen Übergänge.

Die Aufstellung der genannten Bewegungsarten würde eine ausführliche Begründung verlangen; es liegt aber der Tendenz dieser Abhandlung zu ferne, hier näher auf diese Gegenstände einzugehen. Ein weiteres Eintreten halte ich überdies aus dem Grunde nicht für angezeigt, weil die Theorie, welche sich aus dem in dieser und den folgenden Arbeiten niedergelegten Materiale, welches sich in der Hauptsache auf die Wirkung des elektrischen Stromes auf materielle Theilchen bezieht, aufbauen

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

lassen wird, geeignet sein dürfte, unsere Anschauungen über die vitalen Bewegungserscheinungen wesentlich umzugestalten, resp. in dieselben überhaupt eine bestimmtere Einsicht zu gestatten.

§. 5.

Versuchsweisen.

Was nun die Untersuchungsmethode anbelangt, so habe ich kaum Wesentliches hinzuzufügen zu dem, was ich im ersten Theile meiner Arbeiten bereits gesagt habe. Blattstücke, Haargebilde etc. wurden zwischen zwei Metallelektroden, welche meist aus Platin oder Zinn bestanden, auf meinen elektrischen Objectträger gebracht, ein Deckglas über das Blattstück und einen Theil der Elektroden gelegt, und nachdem dem Objecte nach Wunsch mehr oder weniger Wasser zugesetzt war, mit einer Immersionslinse beobachtet, sobald ein elektrischer Strom sich durch das Object Bahn brach.

Von vornherein ist es nun zweckmässig, die Stromstärke nicht zu sehr durch das Object selbst abzuschwächen und sich hierin einen möglichst grossen Spielraum zu belassen, was dadurch erreicht wird, dass wir beispielsweise nicht ein ganzes *Elodea*-Blatt, wenn wir es seiner Länge nach zwischen die Elektroden bringen wollen, anwenden, sondern nur ein Blattabschnitt; es ist frappirend, wie enorm gross der Widerstand eines Zellenconglomerates ist gegenüber von Wasser, nicht zu reden von Metall, was wir ohne eine genauere Untersuchung an dem mechanischen Erfolg des Stromes auf den Zelleninhalt leicht ersehen können, sobald wir die Blattlängen 1, $^1/_2$, $^1/_4$ etc. von Elektricität durchströmen lassen.

Da der Dichtigkeit der Elektricität ein hervorragender Einfluss bei meinen Versuchen zukömmt, insoferne die bewegende Wirkung von Theilchen um so grösser ausfällt als die Dichtigkeit wächst, so wendete ich bei den meisten Experimenten spitzzugeschnittenes Staniolpapier oder sehr fein gewalztes Platin in gleicher Weise behandelt, als Elektroden an, die rechts und links entweder direct ober oder unter, oder in keinen directen Zusammenhang mit dem Versuchsobject gebracht wurden.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ein Umstand ist es, welcher mir in neuerer Zeit wesentliche Dienste leistete; er beruht in der Anwendung grösserer Stromstärke. Früher hatte ich theils eine Batterie von 6—12 Bunsen'schen Elementen benützt, theils einen Inductionsstrom, welcher durch einen von zwei Bunsen getriebenen Ruhmkorff gebildet wurde, jetzt wende ich zur Inbetriebsetzung eines grösseren Ruhmkorff sechs Smee'sche Elemente an, die eine grössere elektromotorische Kraft besitzen.

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich auch in der Hauptsache auf die Wirkung des Inductionsstromes, und zwar eines solchen mit entgegengesetzt gerichteten Strömen als auch gleichgerichteten; die Wirkung eines stärkeren constanten Stromes zu verfolgen, bin ich momentan nicht in der Lage, obgleich sie ein erhöhtes Interesse hätte. Die Wirkungen, welche ich früher in München durch eine Batterie von zwölf Bunsen erhielt, bestand darin, dass der Zelleninhalt bei verschiedenen Pflanzenzellen meist sich an diejenige Zellwand begab, welche dem positiven Pole näher lag. Häufig war die negative Wand aber gleich begünstigt wie die positive; andere wichtige Erscheinungen habe ich damals bei Einwirkung des constanten Stromes nicht beobachtet. Ich glaube, es lässt sich aber hieraus nur schliessen, dass die angewandten Stromstärken zu gering waren, die wichtigen im Weitern zu beschreibenden Phänomene, wie sie durch starke Inductionsströme hervorgebracht werden, hervorzurufen. Ich trage die Hoffnung in mir, dass eine erneuerte Untersuchung mit grösseren Hilfsmitteln auch durch constante Ströme die ganze Mannigfaltigkeit der Erscheinungen erzielt werde, wie sie der inducirte Strom hervorzubringen im Stande ist. Die Hypothese der gleichen Wirksamkeit ist gerechtfertigt dadurch, dass die bis jetzt bekannten Wirkungen des constanten und inducirten Stromes auf den lebendigen und todten Zelleninhalt sich decken und dass das Gleiche nach Quinke der Fall ist, für constante und wenigstens gleich gerichtete Inductionsströme in ihrer Wirkung auf bewegliche, im Wasser innerhalb Glasröhren suspendirter materieller Theilchen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

§. 6.

Bewegungen einfacherer Art, hervorgerufen durch schwaehe constante elektrische Ströme und über Versuchsbedingungen.

Leiten wir einen genügend starken elektrischen Strom, sei es einen constanten oder einen inducirten, durch ein Zellenaggregat, das von *Elodea*-Blättern entnommen ist, so sehen wir unter allen Umständen, sei es, dass der Inhalt in Bewegung, ich will sagen Rotation begriffen war, oder dass er in Folge der Chlorophyllkörnerstellung sich in Ruhe befand, dass ruckartige Bewegungen der Inhaltskörper eintreten, die scheinbar gesetzlos sind. Das Protoplasma quillt auf, wobei die Masse dann mit Vorliebe cohärirt, als klumpiger Körper sich irgendwo in der Zelle festsetzt. Es genügt ein einziger starker Inductionsschlag durch die Zelle gehen zu lassen, um dann bei geöffnetem Strome Verschiebungen, Zusammenballungen etc. eintreten zu sehen. Es scheinen sich bei dieser ersten Wirkung auf die lebende Zelle ein primärer und secundärer Erfolg zu mischen. Die eigenthümliche ruckweise Bewegung der Chlorophyll- und Stärkekörner, die so sehr an dasjenige Stadium der Bewegung erinnert, wenn die vitale Glitschbewegung der Inhaltskörper in die Circulation übergeht, bei störenden Eingriffen auf die Normalstellung der Chlorophyllkörner des *Elodea*-Blattes, ist eine primäre Erscheinung; sie ist bedingt durch den elektrischen Strom und hört in ihrer charakteristischen Weise auf es zu sein, sobald der Strom geöffnet ist; die dann eintretenden Verschiebungen sind sichtlich bedingt durch das Streben des Protoplasma Kugelform vermöge seines nunmehr halbflüssigen Aggregatzustandes anzunehmen. Dabei schliesse ich nicht aus, dass Kräfte während des Absterbens von dem Protoplasma selbst aus, auf unautomatische Inhaltskörper ausgeübt werden können, welche sich auch noch in die Erscheinung mischen.

Da nun nicht nur Protoplasma quellen kann, sondern auch die Chlorophyllkörner und beide in diesem Zustande in Mischung treten können, so sieht man zumeist in der Zelle einen einzigen Inhaltskörper von grüner Farbe und ganz eigenthümlicher physikalischer Beschaffenheit; sobald der Strom einige Zeit hindurch-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

geht, wird der Körper fester; er erlangt die Fähigkeit sich schwach zu contrahiren, sobald der Strom geschlossen wird. Der Körper macht den Eindruck einer schwach elastischen Masse. An diesen Inhaltskörper tritt meist sehr leicht die Erscheinung der metaphorischen Wirkung des Stromes auf; mit grosser Regelmässigkeit fliegt der Körper als Ganzes an diejenige Wand der Zelle, welche dem positiven Pole zugekehrt ist; er bewegt sich sofort an die entgegengesetzte, sobald man den Strom wendet. Dabei tritt immer eine Contraction ein, wenn der Strom geschlossen ist; der Körper wird kürzer und dicker. Das wechselnde Wandeln geschieht leicht, wenn der Strom häufig gedreht wird; geht der letztere aber längere Zeit in einer Richtung, so verfängt sich der Körper auf eine freilich schwer sichtbare Weise; er bleibt dann in seiner Ecke sitzen, wenn wir jetzt den Strom wenden.

Das Wandern in Richtung des negativen Stromes ist die einzige wichtige Erscheinung, welche wir an diesem Körper beobachten können; sonst bietet er nichts Besonderes dar. Überall da, wo in der Hauptsache solche cohärente Massen sich bilden, kommen wir daher auch nicht viel weiter in der Erkenntniss der elektrischen Bewegungserscheinungen, es mangeln hierfür die nöthigen Bedingungen. Noch erfolgloser kann man experimentiren, wenn das Protoplasma eine eigenartige Gerinnung eingeht, die Chlorophyllkörner an Durchmesser abnehmen und durch den elektrischen Strom nicht von der Stelle zu bringen sind. Solche Wirkung kann der elektrische Strom hervorbringen bei allen kränklichen Exemplaren der *Elodea*, deren Protoplasma im Abnehmen begriffen ist, deren Chlorophyllkörner ihre Stärke wegoxydirt haben und unfähig sind, deren neue zu bilden. Ein solches Object ist ebenfalls gänzlich untauglich für unsere Fragestellung: Wie wirkt der elektrische Strom auf isolirte materielle Theilchen in der Zelle?

Ein ganz anderes Resultat erhalten wir dann, wenn wir uns Blätter aussuchen, die reichlich Stärke innerhalb ihrer Chlorophyllkörner gebildet haben. Durch die Einwirkung des elektrischen Stromes verschwindet fast ganz der dünne Chlorophyllüberzug der grossen Stärkekörner; anfangs grünlich, erscheinen sie jetzt fast weiss, und da das Protoplasma theils gequollen ist,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

theils sich als grumiger Körper abgeschieden hat, sind sie frei geworden; sie finden sich in Menge isolirt in der Zelle fast ohne Bewegung und wenn eine solche bemerklich, ist es nur schwache Molecularbewegung. Ihr specifisches Gewicht scheint um ein Kleines grösser zu sein wie das der Intracellularlösung.

Ich nehme nun an, die Zelle sei durch den elektrischen Strom getödtet und sie sei bereits in dasjenige Stadium getreten, welches ich soeben beschrieben habe. Wir wollen nun zunächst sehen, wie ein schwächerer constanter Strom von 6—8 Smee'schen Elementen entnommen einwirkt, nachdem wir bereits wissen, dass starke constante Ströme und Inductionsströme fähig sind den ganzen festen Zelleninhalt an diejenige Wand zu werfen, welche dem positiven Pole zugekehrt ist.

Wir schliessen den Strom und sehen je nach Umständen eine trägere oder lebhaftere kurzdauernde Bewegung. Die Körner werden nach und nach an die dem positiven Pole zugelegene Wand geführt; die Bewegung geschieht innerhalb ein und derselben Zelle nicht in einer einzigen Richtung; sie gehen häufig parallel, häufig schief durch die Zelle und werden meist rasch angezogen. Entgegengesetzte Bewegungen, also in Richtung des negativen Stromes kommen vor, wenngleich sie selten sind; eine Beziehung zur Wand überhaupt wurde hierbei bis jetzt nicht entdeckt. Wird der Strom geöffnet, so bewegen sich meist die materiellen Theile in ähnlicher Weise wie zuvor aber in entgegengesetzter Richtung. Die heftigen Anziehungen finden hierbei nicht statt; die Bewegung geht mit Ruhe vor sich. Häufig fällt es auf, dass fixirte Körner an ihre alte Stelle wieder zurückrücken, die sie ursprünglich besassen, gleichviel ob dieselben irgend einer Wand anliegen oder in der Zellflüssigkeit schweben. Wenn dieser eben bezeichnete Fall, in der Zelle bei mehreren oder allen Körnern eintritt, so macht die ganze Erscheinung den Eindruck, als seien durch einen Federdruck die Theile einer complicirten Maschine verschoben, die dann wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren müssen, sobald die Maschinerie eingestellt wird. Man könnte schon hier an eine compressible Schleimmasse denken, welche so eigenartige Bilder hervorbringen könnte; es ist dies aber unmöglich. Eine Schleimmasse existirt bei mehrmaligem Durchleiten eines Stromes durch Zellen gar

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

nicht mehr. Meist rücken die Körner, seien sie an beliebigen Stellen der Zelle, ein kleines Stück in Richtung des negativen Stromes weiter. In besonderen Fällen kann aber auch hier schon die kurze Bewegung so stark sein, dass ein Korn von einer Querwand der Zelle bis zur anderen sich bewegt, auch dann, wenn die Zelle parallel dem Strome liegt. Dass diese Bewegungen in der That mehr durch die Schwankungen der Elektricität hervorgerufen werden als wie durch den Strom selbst, beweist der Umstand, dass dieselben stets beim Schliessen häufig eintreten, während des dauernden Stromschlusses zuweilen vollkommen Ruhe herrscht, obgleich die eben sich verschoben habenden Körner noch überflüssig Gelegenheit hätten, ihre Bewegung fortzusetzen.

Eine Erscheinung muss hier endlich auch noch erwähnt werden; es ist die, dass zuweilen Inhaltskörper, die soeben durch den Stromschluss von der Stelle ziemlich rasch, manchmal rapid bewegt werden um von selbst bei dauerndem Stromschluss langsam wieder an ihre ursprüngliche Stelle zurückkehren. Immerhin ist diese Erscheinung nicht von so allgemeiner Verbreitung und regelmässigem Auftreten, um ihr hier wenigstens besonderes Gewicht beizulegen. Sie mag aber dennoch von Belang sein und regt mit anderen Thatsachen die Frage an, ob in der Zelle nicht inducirte Ströme ihre Entstehung nehmen können, wenn ein elektrischer Strom sie umzieht, oder auch durch sie hindurchgeht?

Auf die bei Stromöffnung eintretenden Bewegungen komme ich sogleich noch einmal zurück. Bei diesen verhältnissmässig schwächeren und unbestimmteren Bewegungen liess sich noch auf manches Complicirte und Eigenartige aufmerksam machen. Ich kann nicht sagen, dass ich zu einem befriedigenden Resultate mit schwachen constanten Strömen gekommen wäre.

Jede geringe Veränderung in dem Experimente lässt auch die Erscheinungen schwanken und wenn auch für *Elodea* Kartoffelzellen und andere, die Hauptgesetze dieselben sind, so sind doch so viele Nebenerscheinungen, welche auftreten, die den Beobachter ermüden.

Eines darf ich nicht unerwähnt lassen, dass die Stärkekörner der *Elodea* und der Kartoffel bei diesen schwachen Strö-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

men schon zuweilen Rotationen um ihre eigene Axe ausführen können, worauf ich später noch einmal zurückkomme. Sind die Mühseligkeiten somit bei schwachen Strömen überaus gross, so belohnt das Experimentiren mit starken Inductionsströmen in einem Grade, wie er nicht häufig bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen eintrifft. Die Resultate dieser Experimente sind in einem der folgenden Paragraphen niedergelegt.

§. 7.

Bewegungen einfacherer Art, hervorgerufen durch schwächere Inductionsströme.

Wendet man schwache Inductionsströme an, so zieht sich der Inhalt der Zelle sehr oft nach zwei entgegengesetzten Richtungen hin zurück; mit anderen Worten, er geht sowohl an die dem positiven wie negativen Pole zugekehrte Zellwand, wie ich dies bereits im ersten Theile meiner Abhandlung schon erwähnt habe; hier ist statt der Bezeichnung „starke Ströme", „schwache Inductionsströme" gebraucht, weil diese Inductionsströme, welche nur diese Wirkung hervorbringen, die geringste Intensität haben von allen Anderen, von denen ich in dieser Arbeit hier spreche. Auf eine nähere Bestimmung der Stromstärken habe ich mich noch nicht eingelassen, weil sie sehr schwierig durchzuführen ist und mehrere Detailuntersuchungen voraussetzen müsste.

Selbst wenn wir grössere Stromstärken anwenden, ist oft genug zu erkennen, dass die Inhaltskörper sich beiderseits in der Zelle an die den Polen zugelagerten Wände zurückziehen, wenn es auch als die häufigere Erscheinung betrachtet werden kann, dass die positive Wand es ist, welcher die Körper beim Schliessen des Stromes zuwandern.

Schicken wir einen schwächeren Inductionsstrom durch ein *Elodea*-Blatt, so können wir in den häufigsten Fällen folgende Phänomene wahrnehmen. Legen wir die Zellen mit ihrer Längsaxe parallel dem elektrischen Strome, bringen wir sie in eine zu demselben senkrechte Stellung oder in eine schiefe Richtung, gleichviel, es zeigt sich deutlich, dass die Körner an diejenigen Wandpartien wandern, welche dem positiven Pole zunächst liegen. Drehen wir den Strom momentan um, so wandert die

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ganze Masse an die gegenüber liegenden Wandpartien; sie bleibt beim Öffnen des Stromes so ziemlich ruhig liegen. Dieser soeben beschriebene Fall ist ziemlich selten; weit häufiger nimmt man folgendes wahr: Die Körner wandern nach denjenigen Wandtheil, der dem positiven Pole zugekehrt ist, beim Öffnen des Stromes geht die Masse wiederum von selbst von der Wand zurück. Für manche Fälle, ja häufig kann man mit Jürgensen sagen, die Masse prallt zurück. Ob durch Elasticität der schleimigen Masse, wie Jürgensen meint, ist sehr fraglich, ja ganz unwahrscheinlich, denn man sieht in unserem Falle eine schleimige, compressible Masse gar nicht vor sich. Was hier von Materie in Betracht kommt, d. h. allein zu sehen ist, das ist ein Conglomerat von Stärkekörnern. Wenn sich die letzteren an der positiven Wand nahe aneinander kauern, so müsste sich eine compressible Masse zwischen denselben geltend machen, die die Körner beim Öffnen des Stromes auseinanderschleudert, wir sehen mit den besten optischen Hilfsmitteln nichts Derartiges; ja was hier noch schwerwiegender ist, das ist das, die Art der mannigfaltigen Bewegungen ist nicht derart, dass es möglich wäre, dass das Stärkekorn sich in einem Schleime bewegt. Wir müssen daher nach einer anderen Ursache suchen, welche im Stande ist, die Rückbewegung zu bewerkstelligen. Ich habe den Gegenstand speciell verfolgt; ich glaubte anfangs eine mechanische Erklärung geben zu können. Das Zurückweichen der Körner geschieht in den meisten Fällen ziemlich langsam; es ist im Momente des Öffnens stark und nimmt an Energie ab, bis die Körner in die Nähe der gegenüberliegenden Wand gerathen sind. Beim Schliessen des Stromes geräth der grösste Theil des Inhalts nach der positiven Wand; die Körner werden dabei gegen ihre eigene Schwere theilweise gehoben; öffnet man nun den Strom, so geschieht dasselbe, als wenn man einen sorgfältig aufgebauten Haufen von glatten Kugeln, und unsere Stärkekörner sind auch glatt, einen Anstoss gibt; der ganze Haufen zertheilt sich. Man kann es unter dem Mikroskop auch deutlich beobachten, wie ein höher gelegenes Korn seine Stützkörner zur Seite schiebt und sich zwischen denselben auf dem Boden postirt. Indessen reicht diese Erklärung nicht für alle Fälle aus. Man sieht nämlich öfters, auch dann, wenn nicht ein allgemeines

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Übereinanderrollen bei Stromöffnung eintritt, dass vereinzelte oder auch mehrere Körner vorzugsweise gerne an einer Seitenwand bis zur gegenüber liegenden Wand beim Stromöffnen zurücklaufen; vereinzelte Körner können sich so selbst noch zwei Minuten lang weiter bewegen und diese Bewegung erfolgt auch meist so, nämlich in einer einzigen Richtung, bis die gegenüberliegende Wand der Bewegung Halt gebietet.

Durch einen mechanischen Stoss kann hier diese stärkere Bewegung nicht erklärt werden, weil oft hierbei ein Übereinanderrollen der kugeligen Gebilde gar nicht stattfindet und dies könnte noch die einzige Ursache für eine mechanische Wirkung abgeben.

Um der Sache einigermassen näher zu kommen, glaubte ich zunächst die Frage stellen zu müssen, ob Inhaltskörper sich auch noch merklich rückwärts bewegen, nachdem überhaupt der elektrische Strom aufgehört hatte es zu sein, wenn man ihnen ein mechanisches Hinderniss darbietet und dabei stellte sich heraus, dass dies der Fall ist.

Wenn man Cladophorenzellen aus dem Wasser zieht, so stellen dieselben, mit dem Mikroskop betrachtet, mehr oder weniger lange schlauchförmige Zellen dar, die sich in der Weise vegetativ fortpflanzen, dass sie wachsen und sich theilen. Diese Theilung erfolgt so, dass an der runden Wand gleichweit entfernt von den beiden kurzen Querwänden ein Ring aus Cellulose auftritt, welcher in kurzer Zeit in gleichem Tempo gegen die ideale Axe der Zelle hineinwächst.

Ich habe nun solche Zellen ausgesucht, bei denen die junge Querwand noch nicht fertig gebildet war. Ich hatte also, was hier in Betracht kommt, eine cylindrische geschlossene Röhre, welche in der Mitte durch eine Querwand getrennt war, die ein kleines Loch besass, bei meinen Versuchen im äussersten Falle zwei Drittel des Zellendurchmessers an Grösse ausmachend. Ich setzte voraus, dass bei Stromöffnung die Inhaltstheile, nachdem sie durch den Strom von einer Zelle in die andere übergeführt worden sind, nun nicht mehr sich zurückzubewegen, geschweige zurückzuprallen. Ich schloss den Strom; ich gewahrte sogleich zu meiner Überraschung, dass durch den starken Strom, den ich anwandte, bei diesem in jugendlicher energischer Thätigkeit begriffenen, reichlich vorhandenen Protoplasma sammt Chloro-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

phyll- und Stärkekörnern keine Kugelbildung eintritt; der Inhalt wurde gar nicht sichtlich verändert und er bewegte sich im Sinne des negativen Stromes durch die freigelassene Öffnung von einer Zelle zur andern. Die Geschwindigkeit wurde immer grösser, sobald die Körper eben durch die kleine Öffnung hindurchtraten, was wir schon durch die Quinke'schen Versuche voraussetzen konnten[1]. Selten bemerkt man, dass einzelne Körper in entgegengesetzter Richtung glitschen. Bei jedesmaligem Stromschlusse contrahirte sich der ganze Körper, aber sehr mässig. Ist eine kleinere Partie von einer Zelle zur anderen gewandert und wir öffnen den Strom, so bewegt sie sich jetzt im ruhigen Tempo wider unser Erwarten trotz des Hindernisses, das durch die unvollkommene Wand gegeben war, wieder durch die kleine Öffnung zurück. Niemals tritt der ganze übergeführte Körper zurück, sondern nur ein Theil. Die aufnehmende Zelle hätte sichtlich Platz für den übergeführten Theil, dennoch entledigt sie sich desselben bei Stromschluss theilweise wieder. Lassen wir den Strom längere Zeit geschlossen, so bewegt sich so lange der Inhalt der einen Zelle in diejenige, welche dem positiven Pol zunächst liegt, bis sie eben prall gefüllt erscheint. Die Zelle kann sich nicht ausdehnen, sie hat sich auf das höchste Mass ausgedehnt und unserer Voraussetzung nach müsste jetzt ein Gleichgewichtszustand eintreten zwischen der rückwirkenden Kraft der positiven Zelle und der elektrischen Kraft, welche die Theile im Sinne des negativen Stromes fortführt.

Allein auch dieses Resultat bleibt aus; sobald die Zelle erfüllt ist, bewegt sich ein Theil des Inhalts wiederum in Richtung des positiven Stromes wieder zurück in die ursprüngliche Röhre, dann geht der Körper von Neuem in die positive Zelle und so fort bei dauerndem Stromschlusse, so lange wie es überhaupt in den Grenzen eines derartigen Versuches liegen kann. Diese Erscheinung ist offenbar von Bedeutung; sie ist ganz gesetzmässig und es genüge augenblicklich, ihre Gesetzmässigkeit festgestellt zu haben. Elasticität kann nicht der Grund der zurücklaufenden Bewegung sein, weil Elasticität bei den obwaltenden

[1] Quinke. Pogg. Annal., Bd. 113, p. 582. (Mit wachsender Stromdichtigkeit nimmt die Geschwindigkeit der Bewegung der Theilchen zu.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Aggregatzustande nicht vorhanden ist, oder sie ist sehr klein. Die einzige mögliche Erklärung wäre für den besprochenen Fall die, dass nicht in dem Masse das Wasser sich in Richtung des positiven Stromes bewegen kann, wie die festeren Theile im Sinne des negativen Stromes es ausführen; in Folge dessen könnte ein grösserer hydrostatischer Druck entstehen in der aufnehmenden Zelle, welcher, wenn er eine gewisse Grenze überschreitet bei Stromschluss sich gelegentlich oder periodisch ausgleicht und nach der Stromöffnung die Ursache ist, dass der festere Inhalt wieder langsam durch die enge Öffnung gezwängt wird. Eine irgend äusserlich wahrnehmbare Zu- oder Abnahme des Röhrendurchmessers der einen oder anderen Zelle findet aber hierbei nicht statt. Würde nun diese Erklärung auch für unseren eben erörterten Fall genügen, so stösst sie bei der retrogaden Bewegung der isolirten Stärkekörner in *Elodea*-Zellen auf grosse Schwierigkeiten; denn dort kann in ein und derselben Zelle kein differenter Werth des hydrostatischen Druckes auftreten und die Körner bewegen sich doch noch und zwar in einer Weise, ich kann die Bemerkung nicht unterdrücken, als sei es in der That eine Nachwirkung elektrischer Natur. Das Auftreten eines kurz dauernden entgegengerichteten Stromes innerhalb der Zelle beim Öffnen der Hauptkette würde die wunderbare Erscheinung vollkommen erklären und diese Annahme stünde mit der Art und Weise der Bewegung selbst in vollkommener Harmonie. Gleichgerichtete Inductionsströme haben dieselbe Wirkung wie entgegengesetzt gerichtete.

§. 8.

Bewegungen complicirterer Art, hervorgerufen durch starke Inductionsströme.

Wenn es nur wenigstens gelingt durch den elektrischen Strom zu verursachen, dass eine möglichst grosse Zahl Stärkekörner sich isoliren, und der Rest einer theils weichen, theils grumigen Masse vielleicht einige Stärkekörner noch einschliessend sich irgendwo in der Ecke der Zelle verfängt, so sind die ersten Bedingungen gegeben, die verschiedenartigsten Bewegungen, im glücklichen Falle die interessanteste, nämlich eine Rotation

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

hervorzurufen. Bleibt die Masse dagegen vielleicht trotz Anwendung sehr starker Ströme da und dort in der Zelle vertheilt, so ist auch trotz stundenlangen Abmühens keine Rotation zu erwarten; dagegen ist dieser Zustand günstig einer hin- und hergehenden unregelmässigen Bewegung, die als Circulation bezeichnet werden soll. Sie steht vermuthlich im Zusammenhange mit einer unregelmässigen Zerstreuung der Elektricität, insoferne die Dichtigkeiten derselben an verschiedenen Punkten der Zelle einen differenten Werth besitzen.

Zu erwähnen ist zugleich auch, dass gewöhnlich eine gewisse Gleichartigkeit der Bewegungsarten obwaltet, die durch den elektrischen Strom hervorgerufen werden, wenn man Zellen vergleicht, die verschiedenen Versuchspflanzen, welche unter denselben Bedingungen vegetiren, zu gleicher Zeit entnommen sind, so dass sich sofort der Gedanke aufdrängt, dass es das physiologische Verhalten oder hier speciell, dass es die physikalische und chemische Beschaffenheit des Zelleninhaltes ist, welche bestimmend auf das Auftreten von Rotation, Circulation, oder Bewegungen einfacherer Art, einwirkt. Dies werden wir im Weiteren noch bestätigt finden. Wir erhalten aber hieraus schon den Fingerzeig, dass die Frage, unter welchen Umständen leichter die eine oder andere Bewegungsart auf künstlichem Wege eintritt, keine sehr schwierig zu lösende sein wird, und dass Aussicht vorhanden ist, dass systematische Versuche mit Objecten, welche verschiedenartige Functionen mehr oder weniger vorzugsweise ausübend, besonders günstig für das Zustandekommen des einen oder anderen Phänomens sind. Hieraus würde sich dann auch auf das Zustandekommen der einen und anderen natürlichen, d. h. vitalen Bewegungserscheinungen Schlüsse ziehen lassen, wobei ich nur eben im Momente die elektrische Bewegungsursache als eine gegebene voraussetze.

Kehre ich nun zu den hauptsächlichsten Erscheinungen bei *Elodea* zurück. Ist der Strom etwas stärker als man ihn benöthigt die Fortführung zu bewerkstelligen, so findet nicht nur lediglich diese statt, sondern die überführte Masse rotirt in enger Bahn vor der sogenannten positiven Wand im ziemlich gleichmässigen Tempo, sei es parallel zur Richtung des Stromes, sei es schief.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Aber nicht nur vor dieser Wand, der positiven, finden Rotationen statt, auch an anderen Stellen der Zellen finden Rotationen und zwar vorzugsweise am Ein- und Austrittsende des Stromes; es ist also auch hier wiederum die negative Wand, an der sich Inhaltskörper sammeln können, um sich dort zu drehen. Endlich sind diejenigen Wandpunkte ganz besonders geeignet einen auf in ihrer Nähe befindlichen Stärkekörner drehenden Einfluss auszuüben, wo die Wand einer benachbarten Zelle mehr oder weniger senkrecht auf die Versuchszelle zuläuft, was wie noch andere Dinge darauf hindeutet, dass auch sie wie Spitzen wirken, die leichter Elektricität aufnehmen oder zerstreuen.

Eine besonders bemerkenswerthe Erscheinung ist die, dass auch ganz vereinzelte Stärkekörner sich um ihre eigene Axe drehen können, also separat rotiren, sei es, dass sie immer an derselben Stelle sich drehen, sei es, dass sie rotiren und dabei vorwärtsschreiten, oder endlich, dass sie gleichzeitig mit ihrer eigenen eine grössere mehr oder weniger unregelmässige Rotation ausführen. Die Rotation geht, wenn das Korn sich der Kugelgestalt nähert, sehr regelmässig vor sich; ist es nicht kugelig, so dreht es sich stossweise, aber doch immer im Takte. Die Geschwindigkeit kann einen sehr verschiedenen Werth haben. Ich habe sie sehr langsam erfolgen gesehen, nie aber bei den Stromstärken, die ich anwandte, so rasch, dass es nicht mehr möglich gewesen wäre, bei unregelmässigen Gebilden die Drehungen zu zählen Beim Öffnen des Stromes hört die Drehung sofort auf. Beim Wechsel des Stromes bemerkte ich gewöhnlich keine Umkehr der Drehungsrichtung; nur selten schien sie sich zu wenden; es trat aber in solchen Fällen gewöhnlich gleichzeitig eine andere Anordnung des Zelleninhaltes ein, so dass ich im Allgemeinen doch festhalten muss, dass die Drehung constant rechts oder links ist, gleichviel ob der elektrische Strom in der einen oder anderen Richtung die Zelle durchläuft.

Die Rotation mehrerer Körner, welche um eine ideale Axe rotiren, oder diejenige einer ganzen Masse von Körnern wird ebenso wenig umgewendet durch einen absichtlich herbeigeführten Stromwechsel,

Verstärken wir immer noch weiter den elektrischen Strom, was wir am leichtesten dadurch erreichen, dass wir nur ein kleineres

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Blattstück zwischen die Metallelektroden bringen, so fangen die Körner an durcheinanderzugehen in der verschiedensten Richtung; bisweilen rückt die ganze Masse, wenn sie an der positiven Wand lag, bei Stromschluss nach der negativen Seite; oft vertheilt sie sich gleichmässig in der ganzen Zelle. Es sind hierbei zweierlei Bewegungen besonders bemerkenswerth; das Durcheinandergehen der Körner in verschiedener Richtung und ein bald Vor- bald Rückwärtsgehen eines Einzelnkornes. In der Art der Bewegung kommen dieselben mit der Circulation und Glitschbewegung der vitalen Chlorophyll- und Stärkekörner überein; sie unterscheiden sich wesentlich nur darin, was mir nicht von besonderem Gewichte zu sein scheint, dass die Chlorophyll- und Stärkekörner bei der vitalen Bewegung an das Protoplasma gebunden sind, dass ihre Bewegungen in und an demselben verlaufen, wobei es fraglich erscheint, ob dieselben sich activ bewegen oder ob sie durch das Protoplasma bewegt werden, während die Bewegung der Stärkekörner sowohl ganz elektrisch innerhalb der Tetracellularflüssigkeit oder nur theilweise in ihr stattfindet, dass letztere nur in dem Sinne, dass es an der Wand der Zelle hingleitet.

Ist die Stromstärke nun noch zu gering, so ereignet es sich allerdings noch häufig, dass die Körner, welche für einen Augenblick wenigstens scheinbar plan- und ziellos in der ganzen Zelle sich umherbewegen, gelegentlich wieder an die positive Wand geworfen werden; aber bald fangen sie meist von Neuem an, von einer Wand zur anderen sich wirr und rasch zu bewegen, ohne dass etwas an dem Experiment verändert worden wäre. Ist die Stromstärke grösser, so wird das Durcheinandergehen der Körner noch lebhafter; sie schiessen jetzt durcheinander; die Bewegung ist nun zu rasch, um sie genau analysiren zu können. Aber auch jetzt noch kommt es vor, dass zeitweise wieder die Bewegung nach der positiven Wand abwechselt mit dem Durcheinanderschiessen der Körner. Ich weiss es nicht bestimmt, aber es ist doch sehr wahrscheinlich, dass diese wechselnden Erscheinungen in den Polarisationen der Batterie ihren Grund haben, welche den Strom zeitweise schwächen und daher auch die Bewegungserscheinungen abändern.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ist die Stromstärke so gross, dass das Hin- und Hergehen der Körner dauernd in Sicht bleibt, so ist man an demjenigen Punkte angekommen, wo eine der für den Physiologen vor Allem wichtige Erscheinung auftreten kann. Es ist mir trotz aller Mühe nicht möglich gewesen, die näheren Gründe kennen zu lernen, wann dieselbe eintritt. Aber dass die Stromstärke mit, wenn auch nicht allein hierbei, im Spiele ist, geht aus Folgendem hervor. Lässt man, sobald das plan- und ziellose Durcheinanderschiessen der Körner vorhanden ist, die Stromstärke etwas und langsam sinken, was ich für diesen Fall immer so bewerkstelligte, dass ich durch den Rheostaten von Jacobi und Wheatstone von Neuem 3000—4000 Mm. Neusilberdraht einschaltete, so lassen sich die wirren Bewegungen, da sie nun verlangsamt werden, durch das Auge auflösen. Man bemerkt anfangs, dass die Theilchen sich in verschiedener Richtung bewegen, man findet separate Rotationen; ein unstätes Vor- und Rückwärtsgehen findet statt. Was aber das Wichtigste ist, oft unter den Augen wird die Bewegung immer regelmässiger und regelmässiger. Man beobachtet nicht mehr eine wirre Bewegung, sondern es tritt ein regelmässiges Vorwärtsschreiten der Stärkekörner an der Wand entlang ein. Oft genug wandert ein Korn hinter dem andern, dann kommen sie an die Querwände, ihre Bewegung wird retardirt, dann schreiten sie wieder in rascherem Tempo an der Längswand dahin, retardiren wieder an der gegenüberliegenden Querwand und so geht es fort; kurz, man sieht vor sich einen geschlossenen Strom, welcher mit dem Rotationsstrom, wie wir ihn an dem lebendem Protoplasma, an Chlorophyll- und Stärkekörnern beobachten, eine solche Ähnlichkeit hat, dass ich mich anheischig machen wollte, Jemanden diese künsliche elektrische Rotation von Stärkekörnern in den Zellen als vitale auszugeben, in der Voraussetzung, dass derselbe nicht bereits näher mit Protoplasmabewegungen vertraut ist. Diese Täuschung gelingt. Man hat hierbei nur in Rücksicht zu ziehen, dass im Leben Chlorophyll- und Stärkekörner sehr das Protoplasma an Masse überwiegt, dass es daher besonders dann, wenn es wenige Protoplasmakörnchen oder Fettkörper enthält, für das Auge bei seiner Farblosigkeit bedeutend in den Hintergrund tritt. Ich will sogleich hier schon bemerken, dass es eine Zeitverschwendung

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ist, die Rotation an einer Zelle erzwingen zu wollen, wo sie sich nicht schon bald, die angegebenen Bedingungen natürlich vorausgesetzt, von selbst einstellt; oft experimentirt man mit allen möglichen Stromstärken, mit allen möglichen Dichtigkeiten der Elektricität, sie kommt doch nicht zu Stande, trotzdem für das Auge in der Zelle selbst scheinbar alle Bedingungen vorhanden wären. Es ist weit gerathener, wenn das Durcheinanderschiessen der Stärkekörner einmal in einzelnen Zellen beobachtet ist, die Umgebung dieser Zellen abzumustern und man wird dann genügend oft nicht nur einzelne Zellen, sondern ganze Zellenaggregate gewahren, in welchen eine wohlausgebildete Rotation sich darbietet.

Ich will nun sogleich auch Einiges über die Detailerscheinungen der Rotation sagen; wir gewinnen hierdurch sogleich ein klareres Bild und werden unser Interesse vom physiologischen Standpunkte aus dem Gegenstande um so weniger versagen. Die Rotation verläuft so, dass die Geschwindigkeit der Theilchen in der Nähe der Wände im Allgemeinen am grössten ist und dass sie gegen eine mittlere Zone hin, die ich die Indifferenzzone bezeichnen will, ziemlich plötzlich abnimmt. Die Folge davon ist, dass Körper, welche an diese Indifferenzzone stossen, complicirte Bewegungserscheinungen darbieten. Da nicht stets ein Korn hinter dem andern läuft, sondern öfters auch zwei oder mehrere übereinander umherkreisen, so ereignet es sich in der That öfters, dass die Körner des einen Stromes in die Indifferenzzone oder auch gelegentlich in die Sphäre selbst des benachbarten Stromes kommen. Hierbei beobachtet man ein einfaches Übergehen des Kornes von einem Strom zum andern, oder aber der Körper wird vorwärts, bald rückwärts geschoben, oder endlich er wird häufig gedreht. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Stärkekörner nicht ganz nahe der Wand dahinziehen; meist bleibt eine ganz schmale Zone zwischen ihnen und der Wand frei; doch ist dies nicht ausnahmslos; ich habe auch zur Genüge beobachtet, dass namentlich Körner, die von der Kugelgestalt abweichen oder sich gar der linsenförmigen nähern, ihre platte Seite der Wand anschmiegen und so an ihr hingleiten.

Bei dieser künstlichen Rotation zeigt es sich, dass die Körner meist den längsten Weg in der Zelle wandern, der in einer

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ebene gelegen ist und zwar ist dies hier derjenige, welcher den schmalen Seitenwänden der parallelepipedischen Zellen entlang hinzieht. Wir sehen daher, wenn das Blatt flach unter das Mikroskop gelegt wird, die Körner sich um eine ideale Axe drehen, die für uns als Punkt erscheint. Grosse Rotationen, gross im Gegensatze zu allen separaten Rotationen, können aber ausnahmsweise andere Lagen haben, selbst senkrecht zu der beschriebenen verlaufenden kommen vor, so dass sich der eine lange Strom dem zweiten entgegengesetzten für das Auge deckt.

Ich kann von dieser Grunderscheinung nicht weichen, ohne ein Wort über die Bewegung des Wassers gesagt zu haben. Wenn wir von vornherein die Annahme machen, dass das Wasser den Stärkekörnern gegenüber in unserer Zelle eine ähnliche Rolle spielt, wie wenn die Bewegung beider Körper ein- und anderseits direct nur von Pol zu Pol ginge, und nach dem Gesetze der Gleichheit von Action und Reaction müssten wir dies sogar annehmen, so wäre die nothwendige Consequenz die, dass das Wasser gerade umgekehrt in der Zelle rotirt wie die Stärkekörner. Es wäre von eminentem Interesse zu wissen, ob dies wirklich der Fall ist. Directe Beobachtungen lassen sich hier bei dem jetzigen Standpunkte der Untersuchung nicht machen; sie muss sich aber indirect entscheiden lassen; die bisher angestellten Versuche lassen mich hoffen, die Frage entscheiden zu können; ich werde später Veranlassung haben, auf die Frage zurückzukommen.

Bei *Elodea canadensis*-Zellen war es mir unbegreiflicherweise nicht möglich, die Rotation durch Wechsel des elektrischen Stromes umzukehren, was ich bestimmt erwartet hatte, nachdem ich früher sie bei *Cucurbita Pepo*-Haarzellen sich wenden sah.

Die Richtung der Bewegung des Zelleninhaltes war verschieden; in direct nebeneinander liegenden Zellen konnte sie entgegengesetzt sein, so dass also an ein und derselben Wand, wenn man sie von einer Seite wie von der anderen betrachtete, eine entgegengesetzte Bewegung wahrgenommen werden konnte.

Die grosse Rotation konnte gleichzeitig mit einer oder mehreren Rotationen einzelner Körner oder eines kleineren Klumpens von Körnern um besondere Axen in ein und derselben Zelle beobachtet werden.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Auch der Fall zog meine Aufmerksamkeit an, dass der grösste Theil des Zelleninhaltes bei jedesmaligem Stromschluss fest zusammenschloss und statt die grosse Rotation zustandekommen zu lassen, als Gesammtkörper entweder in der Mitte der Zelle oder excentrisch um seine eigene Axe rotirte. Diese Rotation und die grosse Rotation sind die verwandtesten Fälle; ich will daher die erstere ein für alle Mal die grosse falsche elektrische Rotation oder Pseudorotation nennen. Sie unterscheiden sich nochmals, um keinen Zweifel übrig zu lassen, — dieser Punkt hat besonderes Gewicht — dadurch, dass bei der grossen Rotation ein Partikel hinter dem andern an der Wand dahinzieht, rotirt, was freilich nicht ausnahmslos geschieht, während die Pseudorotation sich dadurch charakterisirt, dass der grösste Theil des Zelleninhaltes als Klumpen an beliebiger Stelle des Zelleninneren um seine eigene Axe kreist.

Es schien mir nun besonders werth zu sein die Frage in bestimmter Weise zu entscheiden, ob die elektrische Rotation dieselbe Richtung einschlage, wie wir sie für eine ausgewählte Zelle an deren lebendem Protoplasma bereits beobachtet haben. Wir wissen ja, dass direct nebeneinander liegende Zellen ganz verschieden gerichtete Rotationen des lebenden Protoplasma haben können. Würde die elektrische künstliche Rotation jeweils mit der natürlichen Zelleninhaltsrotation übereinstimmen, so wäre es überaus wahrscheinlich, dass die Richtung der Rotation, die vitale und die künstliche, zu dem morphologischen Aufbau der Zelle, respective der Wände derselben in einer causalen Beziehung bestehe. Ich brachte die lebende Rotation des Zelleninhalts einer *Elodea*-Blattzelle dadurch hervor, dass ich das Blatt einfach mechanisch verletzte; es trat Glitschbewegung, Circulation, endlich Rotation ein; ich fixirte ein ganzes Aggregat von Zellen, zeichnete die Richtung der vitalen Rotationen auf, und liess, nachdem dies geschehen, einen elektrischen Strom durch den Blattabschnitt gehen, dessen Zellen hier immer parallel dem Strome lagen. Hatte ich nun die Stromstärke auf diejenige Grösse gebracht, welche eine langsame Rotation zu Stande kommen lässt, so war es deutlich, dass eine bestimmte Beziehung zwischen vitaler und künstlicher Rotation nicht bestand. Die Stärketheile, welche im Leben in einer bestimmten Richtung in

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

der Zelle rotirten, konnten nun ebensogut die entgegengesetzte Richtung durch den elektrischen Strom einschlagen, wenn auch oft genug dieselbe Richtung wie die ursprüngliche anzutreffen war.

Versuche, welche auf dieses erstere genauere Experiment folgten, zeigten mir Verhältnisse, welche die Frage sofort schon hätten entscheiden können. Man trifft nämlich häufig, dass auf grosse Strecken überall in den Zellen die gleiche Bewegungsrichtung durch Elektricität obwaltet, während wir ja zur Genüge wissen, dass bei Protoplasmabewegungen es einer kurzen Überschau bedarf, dass, man kann fast sagen, die Bewegungsrichtungen von einer Zelle zur andern übergehend wechseln.

Ich wollte nun ferner wissen, welchen Einfluss die Lage der Zelle zum elektrischen Strome auf die grosse Rotation ausübe. Ich wählte mir hierzu insbesondere Zellen aus, deren Längsaxe bedeutend die Queraxe an Grösse überwog. Eine solche Zelle wurde parallel dem elektrischen Strome gelegt und nachdem ich mich von dem Vorhandensein einer wohlausgebildeten grossen Rotation überzeugt hatte, drehte ich sie um einen rechten Winkel; ich schloss den Strom von Neuem und gewahrte, was ich nicht erwartet hatte, dass die Rotation vollkommen genau in derselben Weise verlief, wie zuvor. Es änderte sich in dem Falle, dass das Blatt an und für sich schmäler war, in der Querlage lediglich die Geschwindigkeit der Bewegung, was mit der Verminderung des Wiederstandes zusammenhängt, was aber für die vorliegende Frage nicht weiter in Betracht kommen kann. Ebenso konnte die Zelle auch eine schiefe Lage haben zu dem Strome, das war ganz gleichgiltig; das Zustandekommen der grossen Rotation steht in keiner Causalbeziehung zu der Lage der Zellen gegen den Strom.

Für eine spätere Erklärung dürfte hier eine im ersten Theile[1] besprochene Erscheinung von Werth sein, bei welcher wir klar erkannten, dass die kurzen Querwände mit ihren vier scharfkantigen Ecken eine besondere Rolle bei der Wirkungsweise des elektrischen Stromes spielen. Ich sagte nämlich an

[1] Velten, I. Theil. Einfluss des galvanischen Stromes auf das Protoplasma und dessen Bewegungen. Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Mathem.-naturw. Cl., 6. April 1876, p. 18.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

der bezüglichen Stelle, dass es immer in ersterer Linie die Protoplasmatheile des lebenden Zelleninhaltes es seien, welche an den Querwänden vorüberzögen, die durch den elektrischen Strom vor Allem afficirt würden, wobei es ganz gleichgiltig war, was hier von Wesenheit ist, ob die Zelle eine senkrechte oder quere Lage zum elektrischen Strome besass. Es deutet Alles darauf hin, dass die Vertheilung der Elektricität in einem Zellenaggregate, deren Zellen von der Kugelgestalt abweichen, derart ist, dass die Stromstärken an den Ecken der Zellen einen grösseren Werth erreichen, und dass der Strom also auch bei senkrechter Lage der Zelle von oben und unten in die Zelle hereinbricht.

Um die Frage zu lösen, ob die äussere Gestalt der Zelle einen wesentlichen Einfluss auf das Zustandekommen der Rotation habe, vorzüglich ob sie in kugeligen Körpern ebenso auftrete, wie in Cylindern, waren die Blattzellen der *Elodea* nicht geeignet, denn sie besitzt gar keine runden Zellen. Ich glaubte mich daher am besten an ein schon durch Du Bois-Reymond berühmt gewordenes Object wenden zu dürfen. Die Grundgewebezellen der Kartoffel sind nämlich Gebilde von einer Gestalt, welcher sich der Kugelform mehr oder weniger annähern.

Setzte ich ein kleines Zellenaggregat zwischen zwei spitze Pole und liess einen Inductionsstrom hindurchgehen, so entstand auch hier Rotation. Bei der geringen Grösse der Zellen im Verhältnisse zu ihrem Inhalt, welcher aus verhältnissmässig sehr grossen Stärkekörnern von verschiedenster Gestalt besteht, konnte sie natürlich nicht das klare Bild darbieten, wie wir es in den geräumigen Zellen der *Elodea* mit ihren relativ kleinen Stärkekörnern gesehen haben. Es traten bei Kartoffelzellen leicht Erscheinungen ein, welche die Rotation störten oder verwickelten, auf die ich wegen ihrer besonderen Eigenthümlichkeit und weil dieselben meiner Ansicht nach ein besonderes Licht auf die Wirkungsweise des elektrischen Stromes zu werfen geeignet sind, besonders abhandeln will. Die Rotation ging auch hier den längsten Weg in der Zelle, der in einer Ebene gelegen ist, und da die Zellen durch das Deckglas während der Beobachtung gewöhnlich etwas gedrückt wurden, so sah man die Rotation zumeist von der Fläche. Dass ich auch die von Du Bois-Rey-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

mond beobachtete Bewegung der Stärkekörner beim Schliessen eines etwas schwächeren Stromes nach derjenigen Wand hin, welche dem positiven Pole zugekehrt lag, gesehen habe, füge ich noch nachträglich hinzu.

Aus den beschriebenen Versuchen aber lässt sich schon annehmen, dass die Gestalt der Zelle für sich, insoferne sie keine besonderen Unregelmässigkeiten darbietet von keinem besonderen Einflusse auf das Zustandekommen der Rotation besitzt.

Wie schon erwähnt, dreht sich die Rotation bei *Elodea*-Blattzellen nicht um, wenn man den Strom wendet. Hierbei kann es sich allerdings ereignen, dass bei diesem Wenden alles in der Zelle ungeändert bleibt, vor Allem die Rotation selbst. In den meisten Fällen wird man aber nicht erwarten dürfen, dass die Bewegungen genau beim Stromwenden dieselben bleiben. Es kann durch den Stromwechsel bedingt sein, dass mit einem Male hin- und hergehende Bewegungen vereinzelter Körner auftreten; es kann derselbe die Veranlassung werden, dass Rotationen einzelner Körner oder isolirte besondere Rotationen entstehen. Es können endlich hierdurch Partien, die bisher an irgend einer Stelle der Zelle in Ruhe waren, die der Wand fest anlagen, oder sich in einer Ecke verfangen hatten, sich loslösten, wodurch dann überhaupt bedeutende Veränderungen in der Zelle eintreten, insoferne sicherlich die Elektricitätsvertheilung jetzt in anderer Weise stattfindet; allein eines kann und muss hier festgehalten werden, dass durch den Stromwechsel niemals bei *Elodea* die grosse wohlausgebildete Rotation ihre Richtung in eine entgegengesetzte umändert. Gleichgerichtete Inductionsströme haben dieselbe Wirkung wie entgegengesetzt gerichtete.

Im Anfange dieser Abhandlung habe ich davon gesprochen, dass der ganze Zelleninhalt so beschaffen sein kann, dass er durch die Wirkung des elektrischen Stromes als klumpiger Körper in der Zelle hin- und zurückgeworfen werden kann. Solche Körper können sich nun auch bilden, während eine Anzahl Stärkekörner durch den elektrischen Strom isolirt werden. Welche Wirkung hat es nun auf die Rotation, wenn ein solcher Inhaltsklumpen eine Zelle, sei es mehr oder weniger in der Mitte derselben verstopft, während die isolirten Partikel noch freie Beweglichkeit besitzen? Wir werden ein solches Verhältniss

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

unter günstigen Bedingungen bei den schon citirten langen, schmalen Zellen des Mittelnerven der *Elodea*-Blätter antreffen und in der That kann hier bequem verfolgt werden, welche Folgen eine solche Anordnung des Zelleninhaltes hat. Der die Zelle versperrende Klumpen spielt nämlich einfach die Rolle einer Wand; liegt er nicht ringsum der Wand dicht an, so werden gelegentlich kleinere Stärkekörner vermöge der grossen Dichtigkeit der Elektricität sehr rasch durch etwaige Zwischenräume hindurchgetrieben. Liegt der Körper aber dicht der Wand an, so entsteht in der Zelle statt einer Rotation zwei separate, welche, wie man dies voraussetzen konnte, ein und dieselbe Richtung haben.

Ganz denselben Fall, den ich daher sogleich beschreiben will, habe ich bei den langen Schlauchzellen der *Chara fragilis* beobachtet. Dort ereignet es sich nämlich häufig, dass sich Gerinnsel durch den elektrischen Strom bilden, die an verschiedenen Punkten die Zelle versperren und man kann dann unter geeigneten Bedingungen beim Durchleiten eines kräftigen Inductionsstromes eben so viele mehr oder weniger gut ausgebildete Rotationen der festen frei liegenden Partikel erhalten, als Kammern in der Zelle gebildet worden sind.

Die Rotation überhaupt, wie all die besprochenen Bewegungserscheinungen erlöschen sofort, wenn wir den elektrischen Strom öffnen; sie ist daher direct bedingt durch den elektrischen Strom. Höchstens treten Zuckungen verschiedener Art oder noch kurz dauernde Bewegungen vereinzelter Körner auf, welche aber nicht derart sind, dass man auf diese Thatsache der directen Einwirkung nicht wie auf ein Gesetz bauen könnte.

Ich will die Aufmerksamkeit zunächst jetzt auf andere Objecte werfen und will fragen, ob wir ähnliche oder gleiche Resultate erhalten, wenn wir durch sie einen elektrischen Strom leiten.

Werfen wir den Blick zunächst auf Pflanzenhaare, so könnte es scheinen, als ob dieselben wegen ihres einfacheren Baues besonders geeignet wären, die hierauf geworfenen Fragen zu entscheiden. Man hätte es bei ihnen nicht mit einem Gewebe, sondern nur mit einer einfachen Reihe von Zellen zu thun, deren

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Längsaxen meist die Queraxen ziemlich überragen. Die Frage würde sich an und für sich vereinfachen.

Das Object bietet indess dem Experimentator mehrere Schwierigkeiten. Einmal, wenn die Elektroden nur eine Seite des im Wasser auf dem Objectträger liegenden Haares berührten, so zweigt sich der elektrische Strom auch schwer ab; es treten dann in die Zelle gar keine Partialströme, oder sie sind so schwach, dass sie keine Rotation verursachen. Bringt man aber die Elektroden mit der Basalzelle des Haares und mit der Spitze desselben in Berührung, so hindert die an den Elektroden auftretende Gasentwicklung die Beobachtung, mehr aber noch das Experiment selbst, weil dann der Strom für eine bestimmte Gegend fortwährend verschwindet und wieder auftaucht oder als Gesammtstrom schwankt.

Am besten fährt man noch, wenn die Haare so von der Pflanze abpräparirt werden, dass noch ein kleiner Längsstreif des Gewebes, aus dem das Haar entspringt, an diesem belassen wird und die eine Elektrode direct dieses Gewebe unterhalb des Haares berührt, während die andere Elektrode zwischen der Haarspitze und ihrer eigenen Spitze noch einen kleinen Zwischenraum von Wasser übrig lässt.

Ist das Haar so für das Experiment hergerichtet, so ist es aber wiederum ein anderer Umstand, der häufig störend wirkt. Die Intracellularflüssigkeit ist gewöhnlich von aufgelösten Stoffen so geschwängert, dass beim Durchleiten eines elektrischen Stromes ein dicker Niederschlag entsteht, welcher die Zelle im ersten Moment fast ganz ausfüllt. Contrahirt sich der Niederschlag zu einzelnen Klumpen, und dies ist häufig der Fall, so ist allerdings jetzt die Möglichkeit gegeben, an den nunmehr noch freischwimmenden isolirten Partikelchen Detailstudien über ihre elektrische Bewegung zu machen. Allein nirgends zeigt sich deutlicher wie hier, welch' grossen Einfluss einzelne grössere Zelleninhaltspartien auf die Bewegung der isolirten Partikelchen haben, und da die ersteren eben selbst keinen festen Posten in der Zelle fassen, so variiren die Bewegungserscheinungen, und man ist wohl oder übel dem ausgesetzt, vom Zufall abhängig zu sein. Um diesem aus dem Wege zu gehen, habe ich folgende Methode ausfindig gemacht. Ich liess Gewebsstücke mit Haaren

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

besetzt längere oder kürzere Zeit im Wasser liegen. Dies hatte zur Folge, dass die Zellen ganz langsam absterben; es wird ein grosser Theil der oxydablen Körper wegoxydirt; das Protoplasma selbst schwindet zusehends; es diffundiren Stoffe von innen nach aussen, und so gelingt es, dass solche Zellen, die durch diese Behandlung desshalb noch nicht ihre Starre der Membran verlieren, beim Durchleiten eines elektrischen Stromes nur eine kleinere Zahl fester Partikelchen aussondern, die nun mit Bezug auf eine cylindrische, innen glatte Zelle auf ihre Bewegungserscheinungen untersucht werden können. Ist aber alles dies nun geeigneter zu einem Resultat zu gelangen, so ist endlich noch ein Missstand, der erwähnt werden muss. Da nämlich die Längswände der Haare nicht in demselben Tempo an Dicke zunehmen wie die Querwände, welch' letztere ohnedies ein sehr verschiedenes Dickenwachsthum zeigen können, so sind auch die Widerstände gegen den elektrischen Strom verschieden, und so kommt es, dass die Stromesdichtigkeit bisweilen geradezu in der Mitte der Zellen ihren höchsten Werth haben kann, was daraus erhellt, dass von dort aus Niederschläge entstehen, sobald man den Strom schliesst, die gegen die Enden der Zellen hin an Umfang zunehmen, während es sonst bei gleichartig gebauten Zellen derart der Fall ist, dass der Strom zuerst seinen Einfluss an den Querwänden bei dem Strome parallel gelegenen Zellen geltend macht und von hier gegen die Mitte fortschreitend die Zelle afficirt, worauf ich schon im ersten Theile dieser Abhandlung bei Gelegenheit der Besprechung von *Cladophora* aufmerksam gemacht habe.

Nichtsdestoweniger sind unter günstigen Umständen eine Reihe von Erscheinungen zu beobachten, welche unsern Gesichtskreis erweitern. Ich will mich zunächst zu den Haarzellen der Stengel, Blüthen und Blattstiele von *Cucurbita Pepo* wenden. Hat man eine fixirte Stelle durch einen Inductionsstrom getödtet, haben sich hierbei grumige Massen gebildet, welche hauptsächlich aus geronnenen Protoplasmastücken bestehen und haben sich eine grössere oder kleinere Zahl kleiner isolirter fester Partikelchen ausgesondert, so fangen dieselben noch bei derselben Stromstärke, die den Tod herbeiführte, an, hin- und hergehende Bewegungen zu machen, theils in der Richtung des

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Stromes, theils in entgegengesetzter oder auch schief zu demselben. Eine bestimmte Gesetzmässigkeit lässt sich hiebei nicht ermitteln; es ist eine Bewegung, welche, da sie mit der vitalen Circulation in der Art der Bewegung grosse Ähnlichkeit zeigt, elektrische Circulation genannt werden soll.

Verstärkt man jetzt den Strom noch um ein Weniges, so lassen sich verschiedene Erscheinungen beobachten, welche in bestimmter Weise verlaufen und die mit der Richtung des Stromes in einem directen causalen Zusammenhang stehen. Meist zeigt sich auch hier die Bewegung der Körperchen in Richtung des negativen Stromes. Wenn die Stromstärke weder zu schwach noch zu stark ist, so bleiben die Theilchen einfach an jener Wand liegen, die dem positiven Pole zugekehrt ist. Verstärkt man den Inductionsstrom noch um Einiges, so zeigt sich auch hier eine für den Physiologen besonders wichtige Erscheinung; sie tritt aber nur dann klar und deutlich hervor, wenn die grösseren Zelleninhaltspartien ebenfalls wie die kleinen freie Beweglichkeit besitzen und keine zu bedeutende Grösse haben; es bilden sich dann Rotationen aus, die sich auf den ganzen Umfang der Zelle erstrecken. Auf der einen Längshälfte der Zellen bewegen sich die Partikelchen und Klumpen gegen diejenige Wand zu, welche dem positiven Pole zugekehrt ist; hier biegen die Theilchen um, wobei sie regelmässig in ihrer Bewegung retardiren und laufen in der anderen Längshälfte der Zelle zurück, hier dasselbe Spiel wiederholend. Die Geschwindigkeit der Theilchen ist in der ganzen Tiefe eines Stromes so ziemlich ein und dieselbe, nur in der Nähe der Indifferenzzone nimmt sie plötzlich ab. Sobald ich den elektrischen Strom umwendete, drehte sich auch die Richtung der Körnerbewegung sofort um und beim Öffnen des Stromes hörte die Bewegung sofort auf [1]. Die elektrischen Rotationen in Cucurbitahaaren können ihre Drehungsaxe in verschiedener Richtung in der Zelle haben; sie kann eben so gut parallel wie senkrecht zur Schwerkraft gelegen sein, wobei nochmals

[1] Auf diese Erscheinung wurde vorläufig schon in meiner Schrift: „Bau und Bewegung des Protoplasma". Regensb. Flora, 1873, p. 122. aufmerksam gemacht.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ausdrücklich darauf hingewiesen wird, dass die Zellen eine cylindrische Form besitzen.

Welchen Einfluss an der Wand festhaftende unregelmässig geformte Körper auf die elektrische Bewegung innerhalb der Zellen haben können, geht aus Versuchen hervor, die mit den Blatt- und Blattstielhaaren der *Goldfussia glomerata* angestellt wurden. Im Allgemeinen lässt sich über *Goldfussia* dasselbe sagen wie über *Cucurbita*. Zwei Erscheinungen waren bei ihr besonders bemerkenswerth. Einmal die elektrische Rotation, welche *Cucurbita* gegenüber gar keinen Unterschied aufwies, zweitens ein eigenthümliches Verhalten des Inhalts, wenn durch zufällige Ansammlungen des Zelleninhalts die Zelle dauernd oder temporär da oder dort verengt wurde. Ich will einen Fall besonders beschreiben. In der Mitte der parallel dem Strome liegenden Zelle setzten sich an zwei gegenüberliegenden Seiten zwei grössere Inhaltsmassen an die Wand an, welche nicht mehr von der Stelle rückten. In Folge dessen hörte die zuvor vorhandene grosse elektrische Rotation auf. Man gewahrte alsdann folgende Erscheinungen. In der von dem Protoplasmaklumpen freigelassenen Mittelpartie bewegten sich kleine Körnchen von der einen Abtheilung der Zelle zu der anderen und zwar in Richtung des negativen Stromes. Wenn die Körnchen eben in die freigelassene Öffnung kamen, beschleunigten sie sehr ihre Geschwindigkeit, wenn offenbar die Dichtigkeit der Elektricität an dieser Stelle einen höheren Werth erreichte. Auf derjenigen Seite der Zelle, welche dem positiven Pole zulag, beobachtete ich eine separate Rotation, welche sich auf die ganze Abtheilung erstreckte; in der anderen, dem negativen Pol zugelegenen Zellenpartie war keine Rotation, sondern nur eine unregelmässig wechselnde Bewegung der Theilchen kennbar, eine elektrische Circulation.

Die Drehung kleiner Körperchen um ihre eigene Axe ist eine Erscheinung, welche ich häufig ebenfalls beim Durchleiten eines elektrischen Stromes in den Ecken der *Cucurbita*- wie *Goldfussia*-Zellen beobachtet habe.

Ich bemerke noch schliesslich, dass man bei Anwendung sehr starker Ströme in der Mehrzahl der Fälle statt einer wohlausgebildeten Rotation ein wirres Tanzen der Körperchen erhält,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

hält; das keine besondere Beziehung zu dem einen oder anderen Pole verräth.

Die häufigste Erscheinung, welche in Haarzellen beim Durchleiten eines stärkeren Inductionsstromes eintritt, ist eine Bewegung, die schon mehrfach als Circulationsbewegung charakterisirt wurde.

Für ein Glitschen einzelner Partikelchen in ganz beliebiger wechselnder Richtung sind die Bedingungen vorhanden, wenn die Wände eine schleimig bleibende Schichte von Protoplasma auskleidet. Es ereignet sich dann öfters, dass die Partikelchen in der Intracellularflüssigkeit unter sich eine circulationsartige Bewegung ausführen, während die Körnchen an der Wand unstät umherglitschen.

Solche combinirte Bewegungen habe ich überaus deutlich an eben ausgekeimten Charen, es war *Chara fragilis*, wahrgenommen, wenn ich durch sie einen starken elektrischen Strom gehen liess.

Es ereignete sich häufig, dass die Wandschichte, d. h. der Primordialschlauch sammt einem besonderen Protoplasmabeleg nicht gerann, sondern etwas quoll und in diesem Zustande verblieb. Körnchen, welche sich innerhalb dieser Schichte befanden, machten lediglich Molecularbewegungen oder sie waren in Ruhe. Wenn ich durch eine solche Zelle einen stärkeren Inductionsstrom schickte, so glitschten diese Körnchen mit unbestimmtem Ziele an der Wand umher; eine bestimmte Beziehung zur Stromrichtung liess sich hierbei gar nicht erkennen. Im Innern der Zelle, in der zahlreiche Partikelchen schwammen, war es leicht, gleichzeitig eine Bewegung der Körperchen im Sinne des negativen Stromes zu erhalten oder auch es trat Circulation, bisweilen auch Rotation ein. In den meisten Fällen bildeten sich in ein und denselben Zellen, die sehr lang sind, durch den Strom mehrere Kammern, die durch grumöses Protoplasma getrennt waren und nun sah man in jeder Kammer besondere Bewegungserscheinungen.

Was das Wandern in Richtung des negativen Stromes im Allgemeinen anbelangt, so ist zu sagen, dass es schwer ist auch nur eine Zelle zu finden, deren fester Inhalt nicht beim Durchleiten eines mittelstarken Stromes nicht in Richtung des nega-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

tiven Stromes wandert, vorausgesetzt, dass der Inhalt beweglich ist. Am leichtesten wandern Molecularbewegung zeigende frei in der Intracellularflüssigkeit schwebende Körperchen, die zu ihrer Wanderung ein geringes Bewegungsmoment erfordern; schwerer wandern protoplasmatische Massen, die eine dicke Schleimmasse darstellen, so der Inhalt von Vaucheriaschläuchen, der Inhalt von Farnprothallien, wenig Stärke enthaltende Zelleninhalt von *Vallisneria spiralis*-Blättern und vieler andern; gar nicht sind in Bewegung zu setzen in eine homogene, an der Wand festhaftende Gerinnungsmasse eingehende Inhaltskörper.

So gelingt es auch bei Cambiumzellen nur dort deutliche Bewegungserscheinungen hervorzurufen, deren Inhalt hauptsächlich aus Stärkekörnchen besteht. Bei *Platanus orientalis* habe ich ebenso wie bei *Elodea*-Blattzellen bei schwächeren Strömen schon hin- und hergehende, meist aber die Wanderung nach der dem positiven Pole zuliegenden Zellwand hervorgerufen und bei stärkeren Strömen rotirten die Stärkekörner in der Cambiumzelle nach denselben Gesetzen, die ich nun schon mehrfach für andere Pflanzenobjecte auseinandergesetzt habe.

Bei der Wanderung der in solchen Cambiumzellen sehr verschieden grossen Stärkekörner nach der dem positiven Pole zugelegenen Wand zeigt sich auch noch eine besondere Eigenthümlichkeit, die ich erwähnen muss.

Die grossen Stärkekörner werden nämlich leichter durch den elektrischen Strom in Richtung des negativen Stromes fortgeführt als wie die kleinen und kleinsten; daher kommt es, dass man beim Stromwenden in den ersten Augenblicken an der positiven Wand nur die grösseren Körner wahrnimmt, während die kleinen noch vor der negativen schwache Bewegungen ausführen und bisweilen auch dauernd trotz Stromschlusses an ihr liegen bleiben.

Es erinnerte mich dies Verhalten an die Versuche Quinke's. Quinke[1] hat nämlich schon beobachtet, dass grosse Stärkekörner, die in Wasser suspendirt, eine Glasröhre erfüllen bei gewissen schwächeren Intensitäten der Elektricität an der Wandung im Sinne der negativen Elektricitätsströmung fortgeführt

[1] Quinke, Pogg. Annal. 1861, Bd. 113 p. 569 u. 590.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

werden, während die kleinen Körnchen in Richtung der positiven Elektricität vorwärts schreiten. Bei grösseren Stromintensitäten bewegten sich alle Körnchen im Sinne des negativen Stromes.

Quinke erklärt dies Verhalten dadurch, dass er annimmt, dass die grösseren Stärkekörnchen eher die lediglich im Sinne der positiven Elektricitätsströmung stattfindende Bewegung des Wassers bei gewissen Stromintensitäten überwinden als die kleineren und dass erst bei starken Stromintensitäten alle Körnchen der negativen Elektricität folgen.

§. 9.

Vergleich der vitalen Bewegungserscheinungen mit den durch den elektrischen Strom hervorgebrachten und hierauf begründete Hypothese der elektrischen Ursache der vitalen Bewegungen.

Nachdem ich eine hinreichende Zahl Fälle von durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Bewegungserscheinungen erörtert habe, mag es Zeit sein, einen vergleichenden Blick auf die vitalen Bewegungserscheinungen des Inhalts dieser Zellen, sowie auf diejenigen Bewegungen zu werfen, welche wir an denselben Körpern im todten Zustande auf künstlichem Wege in den Pflanzenzellen durch den elektrischen Strom zu Stande gebracht haben.

Es sei zuerst auf das Gemeinsame aufmerksam gemacht, welches wir bei *Elodea*-Zellen im Leben und bei Einwirkung des elektrischen Stromes im Tode wahrnahmen.

Da fällt uns vor Allem eine merkwürdige Analogie zwischen der grossen elektrischen und der vitalen Rotation auf. In beiden Fällen bewegt sich ein geschlossener Strom, ein Korn hinter dem andern folgend, den schmalen Seitenwänden der parallelepipedischen Zellen entlang dahin, der seine grösste Geschwindigkeit an den langen Seitenwänden besitzt, während sie bei der Umkehr des Stromes an den Querwänden regelmässig abnimmt.

Bei der künstlichen und natürlichen Rotation des Zelleninhaltes der *Elodea canadensis* zeigt es sich, dass die Körner meist den längsten Weg in der Zelle zurücklegen, der in einer

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ebene gelegen ist; daher sehen wir das merkwürdige Factum, dass beide Rotationen an den schmalen Seitenwänden der parallelepipedischen Zellen verlaufen und nur als Ausnahmsfälle sind diejenigen Rotationen zu betrachten, welche senkrecht zu dieser Richtung stehen oder eine andere Neigung haben, vielleicht nur eine Längswand hierbei in Anspruch nehmen. Dinge, die ich in beiden Fällen, auf elektrischem und natürlichem Wege, constatirt habe. Über die abnormen vitalen Rotationen habe ich bereits früher schon Mittheilungen gemacht, noch ehe mir die elektrischen Rotationen näher bekannt waren.

Bei der elektrischen und vitalen Rotation wechselt die Richtung derselben, wenn man nebeneinander liegende Zellen vergleicht; der einzige Unterschied ist nur der, dass bei der elektrischen Rotation eine Richtung ganz überwiegend vorherrscht, was für die vitale keine Geltung hat.

Bei beiden Rotationen häufen sich mitunter einzelne Körner zusammen, ohne dass desshalb die grosse Rotation eine Störung erleidet.

Da finden wir in beiden Fällen eine Indifferenzzone, in welcher Körper vor- und rückwärts geschoben, bald auch gedreht werden. Die letztere Erscheinung bietet freilich eine weit bessere Analogie mit der vitalen Rotation in älteren Charenzellen, aber auch bei *Elodea* sind die Verhältnisse sehr ähnlich; die im Zellsaft taumelnden Körperchen, welche zwar bei *Elodea* auch öfters fehlen, bewegen sich in ganz gleicher Weise wie bei *Chara*, wenn sie in der Indifferenzzone suspendirt sind [1].

Wenn ich bei *Chara* zunächst stehen bleibe, bieten sich in dem Wechsel der Geschwindigkeiten des Stromes selbst wichtige Vergleiche dar, wenn wir ältere Charenzellen in's Auge fassen. Die elektrische und vitale Rotation verläuft an der Wand am raschesten; sie nimmt langsam gegen die Indifferenzen hin ab um dann plötzlich auf Null zu fallen. Wenn Körper in die

[1] Über diese Gegenstände habe ich ausführlich schon in meiner Abhandlung: „Bau und Bewegung des Protoplasma", 1873. Reg. Flora, p. 87 bis 89 u. 97, 98 gesprochen. Es sind dort die Ansichten bekannter Forscher über die Bewegung der Intracellularflüssigkeit mit ihren Partikelchen im Verhältniss zur Protoplasmabewegung bekämpft, und wie ich glaube, auch mit Erfolg.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Indifferenzzone hineingerathen, so werden sie in beiden Fällen gedreht oder verschoben; sie können auch bei der elektrischen Rotation gelegentlich von einem Strome in den andern übergehen, ohne dass sie den ganzen Umlauf machen, was auch im Leben gesehen werden kann. Solche Beobachtungen habe ich auch bei *Elodea* gemacht, wenn zwei oder mehrere Körner übereinanderkreisen; im Leben kann ein Übertreten bei dieser Pflanze nicht stattfinden, weil die Verhältnisse hier gänzlich anders liegen wie bei *Chara*.

Auf keinem Spiel des Zufalls kann es weiterhin beruhen, dass künstliche oder natürliche Theilungen der Zellen ihrer Querrichtung nach auf die Rotation selbst, weder auf die elektrische noch auf die vitale, einen wesentlichen Einfluss nehmen.

Unterbinden wir eine lebende Charenzelle, so lässt sich die vitale Rotation in zwei gesonderte Rotationen theilen, welche ungestört weiter verlaufen. Bei der Enge der Cambiumzellen der Hölzer ereignete es sich zuweilen, dass die Zelle durch lebendes Protoplasma verstopft wird, was auf die zuvor vorhandene vitale Rotation ebenfalls keine andere Einwirkung ausübt, als dass zwei gesonderte Rotationen entstehen.

Durch den Einfluss der Elektricität bildeten sich bei Charen mehrere Kammern, in welchen gesonderte Bewegungen vor sich gingen und einen eclatanten Fall bei den langen schmalen Mittelnervzellen des *Elodea*-Blattes habe ich beschrieben, wo eine zufällige Verstopfung in der Mitte der Zelle zwei gesonderte regelrechte Rotationen entstehen liess, die vorher vereint waren.

Was die Rotationen in Pflanzenhaaren anbelangt, so bieten diejenigen von *Cucurbita Pepo* und von *Goldfussia glomerata* die gleichen oder ähnlichen Verhältnisse dar, wie *Elodea* und *Chara*, ja die elektrische Rotation lässt sich bei weitem leichter und klarer darstellen wie bei der letzteren Pflanze; bei ihnen haben wir es aber nicht mit der Rotation von Stärkekörnern, sondern mit Protoplasmaresten verschiedenen Ursprunges zu thun.

Die elektrische Rotation bei Cambiumzellen verdient schliesslich weniger herbeigezogen zu werden, weil, je enger das Lumen der Zellen ist, auch der Beobachtung umsomehr Schwierigkeiten

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

in den Weg gelegt werden, die Detailverhältnisse also auch um so schwieriger genau festgestellt werden können.

Eine auffallende Analogie beobachten wir ferner bei der elektrischen grossen falschen Rotation und derjenigen, welche entsteht, wenn *Elodea*-Zellen starker Insolation oder Kälte ausgesetzt werden [1]. In diesem Falle rotirt der grösste Theil des Inhaltes als Klumpen in der Mitte oder in den Ecken der Zelle um seine eigene Axe. Man könnte diese Rotation auch Klumpen rotation nennen. Der Ausdruck Klumpen oder Klümpchen im Sinne Schultze's erweckt aber nach meiner Ansicht eine falsche Vorstellung über das Protoplasma selbst [2].

Von der grossen falschen Rotation zu der grossen Rotation können auch im Leben wie auf künstlichem Wege Übergänge beobachtet werden. Die Axenrichtung dieser grossen Rotationen ist in beiden Fällen gleich und nur als Ausnahmsfälle sind andere Axenlagen zu beobachten, was auch bei der lebenden Rotation nicht entgehen kann [3].

Die grosse Rotation kann sowohl im Leben als wie durch eine elektrische Ursache combinirt sein mit separaten Rotationen kleiner Körnercongloinerate um besondere Axen.

Auch die Circulations-, die Glitschbewegung, die organische Molecularbewegung kann im Leben beobachtet wie durch Elektricität erzeugt werden. Die erste Wirkung eines elektrischen Stromes von mässiger Stärke auf den Inhalt der *Elodea*-Zellen ist immer die, dass die Inhaltstheile in ganz verschiedener, beliebiger Richtung verschoben werden. Bald gleicht diese Bewegung mehr einer Circulation, in dem grössere Complexe gemeinsam an ein oder den andern Ort hinwandern, bald bewegen sich auch nur einzelne Partikel in wechselnder Richtung ganz unabhängig von ihrer Umgebung, was wir dann Glitschen nennen. Kleine Partikelchen, die Molecularbewegung zeigen, können durch momentane elektrische Eingriffe zu kurzen Excursionen veranlasst werden, so dass diejenige Bewegung resultirt, welche ich als organische Molecularbewegung aufgestellt habe.

---

[1] Velten, Regensb. Flora, 1873, p. 85.

[2] Velten, ebend., p. 83.

[3] L. c. pag. 85.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Auch bei grossen Stromstärken, wenn bereits nicht mehr wie es bei mittleren Intensitäten der Fall war, der Inhalt der Zelle einfach nach der sogenannten positiven Wand wandert, sehen wir auf elektrischem Wege Bewegungen entstehen, die bald mehr den Character der Circulation, bald mehr den der Nägeli'schen Glitschbewegung an sich tragen.

Niemals habe ich die Glitschbewegung dem Leben täuschender ähnlich gesehen als beim Durchleiten eines starken Inductionsstromes durch Charenzellen, deren Wandbeleg aus aufgequollenem Protoplasma bestand, das zahlreiche winzige Körnchen barg. In der verschiedensten Richtung glitschten diese Körnchen beim Durchleiten eines elektrischen Stromes durch die Zelle, hin und her in derselben charakteristischen Weise, wie es im Leben geschieht. Jedes Körnchen, das Molecularbewegung zeigte und durch Elektricität Anstösse erhielt, büsste die erstere momentan ein.

Besondere Aufmerksamkeit verdienen auch die combinirten Bewegungen, combirt in dem Sinne, dass zwei Bewegungsarten vereinigt, aber separirt in ein und derselben Zelle vorkommen können, und zwar im Leben sowohl, als wie dann, wenn die Zellen genügend starken elektrischen Strömen ausgesetzt werden.

So wurde darauf hingewiesen, dass im Leben bei Characeen Bewegungen in ein und derselben Zelle zusammentreffen, welche bei dem eigentlichen Zelleninhalt anderer Art sind als wie bei dem Wandbeleg; durch den elektrischen Strom wurde gleichzeitig Rotation im Innern und Glitschbewegung in dem gequollenen Wandbeleg erzeugt; es existirt daher eine vitale und eine elektrische separirte Rotation-Glitschbewegung.

Die separirte Rotation-Circulation wurde durch den elektrischen Strom bei Pflanzenhaaren erzeugt und auch im Leben kann sie bei denselben Objecten beobachtet werden; diese Analogie tritt aber nicht so scharf wie die übrigen hervor.

Prüfen wir schliesslich noch die von mir aufgefundenen selbständigen vitalen Rotationen der Chlorophyllkörner von Characeenzellen, welche meist Stärkekörner einschliessen und die elektrischen Rotationen der *Elodea*-Stärkekörner um ihre eigenen Axen, so zeigt sich auch hier eine auffallende Verwandtschaft. Durch den elektrischen Strom lässt sich das gleiche

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Tempo der Drehung erzeugen wie es bei Chlorophyllkörnern im Leben statt hat und je nachdem der Schwerpunkt des Kornes centrisch oder excentrisch liegt, erfolgt die Rotation in beiden Fällen gleichmässig oder stossweise. Die Rotation ist hier wie dort constant rechts oder links und die Analogie wird vollkommen mit Hinblick darauf, dass beide Gebilde die grosse Rotation, die vitale einerseits, die elektrische anderseits, ausführen und dabei gleichzeitig während ihres Vorwärtsschreitens sich um ihre eigene Axe drehen können.

Angesichts dieser Thatsachen und Analogien liegt der Schluss sehr nahe zu der Annahme, dass die Ursache der vitalen Bewegungserscheinungen, über welche wir uns bis jetzt nur in Vermuthungen ergehen konnten, elektrischer Natur ist.

Hervorragende Forscher haben in der Elektricität die Ursache der Bewegungserscheinungen gesucht, und zwar desshalb weil keine andere Kraft zur Erklärung der wunderbaren Phänomene der Protoplasmabewegungen ausreichen wollte.

Schon Amici[1] glaubte die grünen Kügelchen bei Charenzellen spielten die Rolle von voltaischen Säulen, die Elektricität erzeugten, welch' letztere die Charenlymphe bewegen sollte.

Becquerel[2] findet in der Strömung bei den Charenzellen eine Analogie mit dem elektrischen Strome; er begann eine grössere Untersuchung, welche die Ursache der Bewegung erforschen sollte und kam zu dem Resultate, dass es nicht die Elektricität, sondern eine besondere uns gänzlich unbekannte Kraft sei, welche die Bewegung hervorbringt.

Bei Gelegenheit der Besprechung der Ursache und Bedeutung der Glitschbewegung spricht Nägeli[3] die Vermuthung aus, die Ursache derselben möchte in hydroelektrischen Strömen liegen, die durch chemische Processe angeregt, unter bestimmten Bedingungen am Primordialschlauche in solcher Intensität auftreten, um kleine Massen zu bewegen.

---

[1] Amici, Osservazioni sulla Circulazione del Succhionella Chara. Mem. di matem. e. fisic. dell Società italiana VIII. Vol. II. Med. 1818. — Osserv. microc. sopra varie piante, Ann. d. scienc. nat. 1824. Ann. de chimie XIII.

[2] Becquerel, Comptes rendus, 1837, p. 784.

[3] Nägeli, Pflanzenphysiolog. Untersuchungen, Heft I, p. 50, 1855.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Hatten dieser Forscher und andere, welche sich in ähnlicher Weise aussprachen, auch keine näheren Anhaltspunkte zu ihren Aussagen, so ist die Frage der elektrischen Ursache der Protoplasmabewegung durch die vorliegende Experimentaluntersuchung, wenn ich nicht irre, in ein neues und höheres Stadium gerückt. Es wäre ein Zusammentreffen der sonderbarsten Art, wenn die Analogien, welche wir zwischen beiden Reihen von Thatsachen beobachten, rein äusserlicher Natur wären.

Man kann fast sagen, in allen wesentlichen Stücken decken sich die elektrischen Erscheinungen mit den vitalen, und der Umstand, dass ich bei Ausführung zahlreicher Experimente den Gedanken immer weiter verfolgt und entwickelt habe, dass diese Erscheinungen gleicher Art sein müssten, kann nicht Grund sein an dem wirklichen Vorhandensein der Analogien zu zweifeln.

Nichts war mir bei dieser Untersuchung ferner als eine Thatsache anders in mir aufzunehmen, als sie wirklich ist.

Dennoch steht aber unserer Annahme ein gewichtiges Bedenken entgegen.

Die neuere Naturforschung acceptirt nur ungern diejenigen Sätze, zu welchen die Thatsachen nicht mit absoluter Nothwendigkeit zwingen. Analogieschlüsse sind aber niemals zwingende Schlüsse und von diesem Standpunkte aus würde der Werth des Vorliegenden bedeutend verkürzt werden.

Allein auf einem Gebiete wie dem hier Behandelten, welches fast unbebaut vorlag, und welches eine ganze Reihe von Thatsachen zu Tage förderte, deren Gesetzmässigkeiten, soweit dies bis jetzt möglich war, festgestellt wurden, und welche Thatsachen soviel innere Verwandtschaft verrathen mit dem, was uns aus der Beobachtung des Lebens schon längst geläufig ist, hiesse es den wissenschaftlichen Fortschritt von der Hand weisen, die Hypothese der elektrischen Natur der Ursache der Protoplasmabewegungen als eine unberechtigte anzusehen und zwar desshalb, weil sie nur, wenn auch auf noch so schwerwiegenden Analogien beruht.

Aufgabe der weiteren Forschung wird es sein, die Hypothese der elektrischen Bewegungsursache direct zu beweisen oder ihre Unhaltbarkeit zu zeigen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bis dahin aber haben wir ein Recht die vitale Bewegungsursache als elektrische anzusehen.

§. 10.

Welche Aussicht ist vorhanden, dass die Richtigkeit der Hypothese der elektrischen Ursache der Protoplasmabewegung direct bewiesen werde?

Das Studium der Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Bewegungen des lebenden Protoplasma bietet absonderliche Schwierigkeiten dar und doch wäre gerade dieses, soweit ich den Gegenstand jetzt überschaue, am ersten geeignet direct entscheidende Resultate für die entgiltige Fragestellung zu geben: kann es nur die Elektricität sein, welche das Protoplasma bewegt?

Die Schwierigkeiten liegen nämlich darin, dass, wenn modificirte Bewegungserscheinungen auf die Einwirkung von selbstverständlich ganz schwachen elektrischen Strömen hin an dem Protoplasma eintreten, man selten oder nie absolute Sicherheit hat, ob dieselben ihren Grund vielleicht doch nur lediglich in vitalen Veränderungen haben. Die Möglichkeiten der vitalen Bewegungsweisen sind sehr gross und wir kennen ihre normalen Grenzen nur in den äussersten Umrissen.

Mancherlei Versuche, welche ich in dieser Richtung ausführte, haben bis jetzt zu keinen unzweideutigen Resultaten geführt, wesshalb ich sie umgehe.

Auffallend ist es, dass dem Leben täuschend ähnliche Bewegungen an dem scheinbar noch normalen und intacten Zelleninhalt durch elektrische Ströme hervorgerufen werden können. So wäre hier zu erinnern, dass sich circulationsartige oder glitschartige Bewegungen in normalen *Elodea*-Blattzellen im ersten Momente der Einwirkung eines elektrischen Stromes erzeugen lassen; das Aussehen des gesammten Zelleninhalts zeigt hierbei keinen wesentlichen Unterschied dem vollkommen normalen gegenüber; und doch trägt diese Bewegung den Keim des Todes in sich.

Sehr bemerkenswerth ist auch folgende Erscheinung, welche als eine innere Verwandtschaft der ursächlichen Kräfte der vitalen Bewegungen mit den elektrischen gedeutet werden kann.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bringen wir ein lebendes Zellenaggregat der *Elodea canadensis*-Blätter unter das Mikroskop und schicken sofort einen Inductionsstrom von solcher Stärke durch dasselbe, dass die Möglichkeit gegeben ist, Rotation des Zelleninhalts hervorzurufen, so lernen wir eine Erscheinung ganz neuer Art kennen.

Es bewegen sich nämlich sofort die in den Zellen eingeschlossenen Stärkekörner in der Richtung des positiven Stromes, was ich stets am leichtesten in den langen, schmalen Mittelnervzellen wahrnahm, und erst wenn einige Momente der Strom das Aggregat durcheilt hatte, folgten die Körner wie gewöhnlich dem negativen Strome. Auf diese Weise kann es sich ereignen, dass in zwei aufeinander folgenden Momenten zuerst eine Ansammlung an den dem negativen Pole näher gelegenen Wänden eintritt, während die Körner gleich darauf an die dem positiven Pole benachbarten zu finden sind, vorausgesetzt, dass sie nicht statt des letzteren alsbald in Circulation oder Rotation übergehen.

Das Obige ist ein Gesetz, welches im Widerspruche zu stehen scheint mit Allem, was wir bis jetzt über die elektrische Bewegung der Theilchen wissen.

Grundbedingung für diese Erscheinung ist, dass die Zelle lebt. Zwei Möglichkeiten der Erklärung liegen für dieselbe vor. Entweder rafft sich die vitale Kraft, die ich nunmehr als elektrische auffasse, des lebenden Zelleninhalts während ihres Absterbens noch einmal zu einer energischen Thätigkeit auf, welche sich in der besprochenen Weise äussert, oder der angewandte Inductionsstrom inducirt unter den Bedingungen, die die lebende Zelle darbietet, einen kräftigen Gegenstrom innerhalb der letzteren, welcher alsbald verschwindet, sobald die Zelle durch starke elektrische Ströme destruirt ist.

Zu erinnern ist ferner an die vitale Wanderung des Zelleninhaltes insbesondere bei Befruchtungsvorgängen nach einer bestimmten Richtung hin; sie würde ihre Erklärung in der Wanderung materieller Theilchen nach dem positiven Pole zu finden. Diese vitalen Bewegungserscheinungen durch von aussen applicirte schwache elektrische Ströme zu modificiren, lässt der Forschung ein weites Feld offen.

Eine auffallende Erscheinung ist es, dass bei Zellen, welche durch verschiedene Agentien, insbesondere chemische, getödtet

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

werden, im Momente des Absterbens der feste Zelleninhalt oft mit grosser Geschwindigkeit nach einer einzigen bestimmten Richtung in der Zelle hinwandert, was trotz genauer Untersuchungen aus mechanischen Gründen nicht, wohl aber aus elektrischen, erklärt werden kann. Versuche in dieser Richtung beschäftigen mich noch.

Einige Experimente verdienen hier noch Erwähnung, welche zur Entscheidung der Frage unternommen wurden, ob die vitale Kraft, welche die Protoplasmabewegung verursacht, durch die Zellenmembran hindurch ihre Wirkung auf ausserhalb derselben befindliche im Wasser suspendirte, feine materielle Theilchen ausübt.

Dieselbe oder eine ähnliche Idee verfolgte ich und zwar schon vor mehreren Jahren, mit welcher Nägeli[1] sich bei seinen Untersuchungen über die Glitschbewegung beschäftigte. Nägeli beobachtete nämlich die Glitschbewegung, wenn auch freilich nur ganz wenige Male, auch an der Aussenfläche der Membran lebender Zellen; so bei *Oscillaria*- und *Navicula*-Arten. Bei ersterer glitschten aussen anhaftende winzige Körnchen schraubenlinig um die Zelle; bei letzterer war die Bewegung in gerader Richtung vor- und rückwärts zu sehen. Nägeli macht noch besonders darauf aufmerksam, dass er sich in der Beobachtung nicht getäuscht habe, dass die betreffenden Pflanzen, welche selbständig sich im Wasser bewegen können, still gestanden seien, während er die beschriebenen Ortsveränderungen bemerkte. Nägeli findet es natürlich, dass die ziehenden Kräfte der Zelle ebensogut auf benachbarte im Wasser befindliche Theile einwirkten, wie auf ihre eigene Substanz, namentlich dann, wenn die Ortsveränderung der Pflanze durch mechanische Ursachen gehemmt ist.

Wir haben keinen Grund an der Richtigkeit dieser Beobachtungen zu zweifeln, denn Nägeli ist ein überaus scharfer Beobachter.

Dennoch aber muss ich Versuche mit Charenzellen, die dieselbe Frage behandeln, mittheilen, welche dem Obigen widersprechen. Ich zerrieb Carmin mit Wasser auf's Feinste und brachte

---

[1] Nägeli, Pflanzenphysiolog. Untersuchungen, I. Heft, p. 52, 1855.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

dieses Gemisch mit einem Charenstamm, dessen Zellen lebhafte Rotation des Protoplasma zeigte, in ein grösseres Gefäss, in das ich die Immersionslinse des Mikroskops derart einsenkte, dass die Linse unmittelbar über dem Versuchsobjecte sich befand, ein Deckglas also ganz vermieden wurde und ich bequem das Verhalten der über dem Strome befindlichen, aussen über der Zelle Molecularbewegung zeigenden feinen Carminpartikelchen beobachten konnte. Ich habe die Körperchen lange verfolgt. Wenn Alles in der Umgebung in Ruhe war, insbesondere wenn der Bobachtungsraum durch auf der Strasse vorbeigefahrene Wagen zu erzittern ganz aufgehört hatte, war nicht der mindeste Einfluss des rasch unter der Membran vorübereilenden Protoplasmastromes auf die auf seiner Membran in nächster Nähe tanzenden Partikelchen zu bemerken. Die einzige Bewegung, welche in weiteren Excursionen bestand, war die, dass gelegentlich ganz vereinzelt Theilchen sich von der Membran in der Richtung nach oben abhoben, was ungezwungen in der Wärmeproduction der beständig Kohlenstoff verbrennenden Versuchspflanze seine Erklärung findet. Das Resultat ist daher: die vitale Kraft, welche die Protoplasmabewegung verursacht, wirkt nicht durch die Pflanzenmembran hindurch.

Wenn wir die vitale Kraft als elektrische annehmen, so befindet sich diese Thatsache in Übereinstimmung damit, dass die in der Pflanze vorhandenen elektrischen Ströme äusserlich nicht wahrnehmbar sind, wenn die Epidermis des Versuchsobjectes nicht zuvor entfernt wird.[1] Dass aber auch dann die Membranen, welche Zelle von Zelle trennen, der vital-elektrischen Kraft einen enormen Widerstand entgegengesetzt, geht daraus hervor, dass die Bewegungserscheinungen der einen Zelle keinen merklichen, störenden oder modificirenden Einfluss auf die Nachbarzellen ausüben. Die äusserlich an Pflanzen nachweisbaren Ströme können daher nach dieser Auffassung nur einen geringen Bruchtheil von denen betragen, welche innerhalb der Einzelle wirklich vorhanden sind, eine Möglichkeit, welche mit den allgemein angenommenen Anschauungen und Theorien nicht in

[1] Manke, Sitzb. d. k. Akad. d. Wissensch. zu München. Mathem.-phys. Cl. 1872. 6. Juli. Velten, Bot. Zeit. 1876. Nr. 18 u. 19.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Widerspruch steht, da aus den Spannungsunterschieden, die sich an der Oberfläche von Zellenkörpern zeigen, nicht auf die Grösse der elektromotorischen Kräfte der Einzelnzelle zurückgeschlossen werden kann.

§. 11.

Wenige Bemerkungen über die in den Versuchszellen auftretenden Temperaturen beim Durchleiten starker Inductionsströme.

Von einem elektrischen Strom durchflossene Pflanzentheile werden erwärmt. Bei Anwendung starker elektrischer Ströme ist diese Erwärmung sehr beträchtlich. Sie zeigt sich bei Pflanzenzellen, welche Stärkekörner enthalten, am Leichtesten dadurch an, dass diese zu quellen anfangen.

Wenn man diejenigen Stromstärken anwendet, welche die elektrische Rotation in den Zellen zu erzeugen im Stande sind, so ist nahezu die Grenze der Temperatur erreicht, wo Stärke körner zu quellen beginnen.

Nach Nägeli[1] ist die Grenze, bei der grössere Stärkekörner im feuchten Zustande quellen bei 55° C.; bei kleineren beträgt sie 65° C. Da bei meinen Versuchen mit Kartoffelzellen zuweilen Quellung sämmtlicher Körner eintrat, so betrug die Temperatur in meinem Versuchsobjecte circa 65° C. und auch darüber. Die Stärkekörner der *Elodea canadensis*-Blätter quellen nach meinen Prüfungen bei 63° C. auf; bei den elektrischen Rotationsversuchen trat zuweilen, trotz Anwendung des Immersionssystemes eine Temperaturerhöhung bis zu 63° C. und auch mehr ein.

Die Stärkekörner quellen beim Durchleiten eines elektrischen Stromes durch ein *Elodea*-Blatt leichter am Ein- und Austrittsende des Stromes auf, als zwischen diesen Punkten; die Erwärmung muss aber stets am Austrittsende grösser sein, denn das Quellen der Körner tritt dort früher ein, als am Eintrittsende des Stromes.

---

[1] Nägeli, Pflanzenphysiol. Untersuchungen, 2. Heft. Die Stärkekörner, pag. 71.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Das Quellen der Stärkekörner kann niemals zu Stande kommen, sobald man das Versuchsobject beim Durchleiten eines elektrischen Stromes kühlt.

Je grösser der Widerstand einer Flüssigkeit für den elektrischen Strom ist, um so leichter quillt die Stärke auf, so mache ich darauf aufmerksam, dass beim Durchleiten eines elektrischen Stromes durch eine capillar verengte Glasröhre, welche mit Wasser gefüllt ist, das Stärkekörner suspendirt enthält, diese viel leichter in der capillaren Stelle zum Quellen zu bringen sind, wenn das Wasser durch Gummilösung ersetzt ist. Dass Jürgensen[1] bei seinen Untersuchungen über die Fortführung materieller Theilchen durch den elektrischen Strom der Gummilösung dem Wasser gegenüber den Vorzug gab, erklärt sich aus der geringeren Leitungsfähigkeit der Gummilösung für Elektricität, in Folge dessen sie auch leichter wanderte, nicht aber aus den Ungleichheiten der Temperatur etc., welche bei Anwendung von Gummilösung geringer sein und daher auch weniger den Versuch stören sollten. Auf die durch den elektrischen Strom in Capillarröhren befindlichen Flüssigkeiten auftretenden höheren Temperaturen, sowie insbesondere auf die Bewegungserscheinungen innerhalb derselben, komme ich an einer späteren Stelle wieder zurück.

Mit der Erhöhung der Temperatur in Zellenaggregaten muss aber auch deren Leitungsfähigkeit für elektrische Ströme wachsen und dieser Einfluss zeigt sich auch deutlich, indem die mechanische Wirkung auf Zelleninhaltskörper, sobald der Strom kurze Zeit geschlossen ist, grösser wird.

Ob die Erhöhung der Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom aber allein die Ursache ist, dass der Strom in den ersten Momenten stets in seinen mechanischen Wirkungen eine beträchtliche Steigerung zeigt, ist mir sehr unwahrscheinlich. Es scheint nach Allem, was ich bis jetzt beobachtete, stets eine gewisse kleine Zeit erforderlich zu sein, bis ein eben in ein Zellenaggregat hereinbrechender starker Inductionsstrom seine volle Wirksamkeit entfalten kann.

---

[1] Jürgensen, Müller's Archiv. 1860, p. 675.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

§. 12.

Resumption.

Die sich aus dieser Abhandlung ergeben habenden wichtigsten Gesetze und Sätze lauten:

1. Sehr starke Inductionsströme, welche durch ein Zellenaggregat oder eine Einzelzelle geleitet werden, versetzen den Inhalt dieser Zellen in Rotation; die elektrische Rotation hat die grösste Ähnlichkeit mit der vitalen; beide verlaufen nach den gleichen Gesetzen.
2. Starke Inductionsströme bringen an den Zelleninhaltskörpern Bewegungen hervor, welche in ihrem Charakter vollständig übereinstimmen mit denjenigen Bewegungsarten, die der Botaniker Circulation, Glitschbewegung etc. bezeichnet.
3. Inductions- und constante Ströme rufen bei in Zellen eingeschlossenen Stärkekörnern und auch anderen Partikelchen Rotationen derselben um ihre eigenen Axen hervor, welche vollkommen analog denen sind, die bei Chlorophyllkörnern in Charenzellen im Leben beobachtet werden können. In beiden Fällen kann das Korn gleichzeitig die grosse Rotation ausführen.
4. Die aus dem näheren Vergleich der Gesetze der vitalen und elektrischen Zelleninhaltsbewegungen resultirende Hypothese lautet: „Die Ursache der Protoplasmabewegungen ist in elektrischen Strömen, die der lebende Zelleninhalt selbst erzeugt, zu suchen.“

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1. Das Bild stellt ein Zellenaggregat aus dem Blatte von *Elodea canadensis,* dessen Zellen mit Stärkekörnern erfüllt sind, dar. Die breiten Zellen sind Zellen der morphologischen Oberschichte des Blattes; die engen, langen Zellen sind an die letzteren anschliessende Blattnervzellen. In den vier oberen Zellenreihen findet elektrische Rotation statt und zwar in der Richtung der Pfeile. In der Zelle *w* sind dadurch, dass ein Protoplasmakörper die Zelle in der Mitte versperrte, zwei isolirte Rotationen entstanden. In der Zelle *r* deutete ich eine separate Rotation eines Einzelkornes um seine eigene Axe an der Stelle an, wo die Querwand der Nachbarzelle sich an die letztere ansetzt. In den beiden unteren Zellenreihen ist durch Pfeile sowohl die elektrische, circulationsartige Bewegung als auch die Glitschbewegung angedeutet.

Fig. 2 stellt Blatthaarzellen der *Goldfussia glomerata* vor. In den Zellen rechts und links findet ungestört eine elektrische Rotation statt, welche sich auf den ganzen Umfang der Zellen erstreckt. Die Rotationsaxe hat in beiden Fällen eine verschiedene Lage. In der Mittelzelle haben sich zwei grössere Protoplasmakörper festgesetzt, welche nur eine kleine Öffnung übrig liessen, durch die nun bei Einwirkung eines elektrischen Stromes Protoplasmapartikelchen im Sinne des negativen Stromes fortgeführt werden. Auf der Seite *b* dieser Zelle bildete sich eine separate elektrische Rotation, während auf der Seite *a* eine Bewegung der Körnchen entstand, welche in ihrem Charakter mit der vitalen Circulation Übereinstimmung zeigt. Ein einzelnes Partikelchen rotirt an der Querwand um seine eigene Axe.

Fig. 3 stellt ein Fragment einer Vorkeimzelle von *Chara fragilis* dar. Die anfangs langgestreckten und in parallele Reihen geordneten Chlorophyllkörner sind durch die Wirkung des elektrischen Stromes von ihrer Stelle gerückt und haben sich kugelig gestaltet. Der protoplasmatische Wandbeleg, welcher gequollen ist, zeigt zahlreiche winzige Körnchen, welche bei jedesmaligem Schliessen des elektrischen Stromes in der

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Richtung der Pfeile hin- und herglitschen. Das Ganze repräsentirt einen eclatanten Fall der elektrischen Glitschbewegung.

Fig. 4. Ein Zellenaggregat des *Elodea canadensis*-Blattes, bei welchem eine ausgesprochene Wanderung des Zelleninhaltes im Sinne des negativen Stromes wahrzunehmen ist. Der grösste Theil des Zelleninhaltes, in der Hauptsache also die Stärkekörner, haben sich an der dem positiven Pole der Kette zugewandten Wand angesammelt. Beim Umdrehen des Stromes wandern die Körner an die entgegengesetzte Wand.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Fig. 1

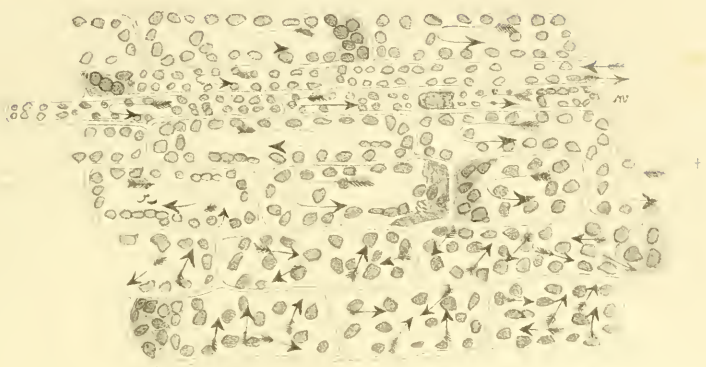

Fig. 2

Fig. 3

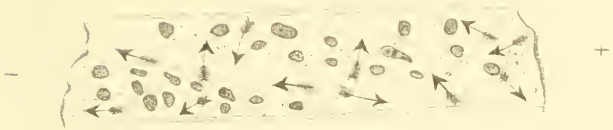
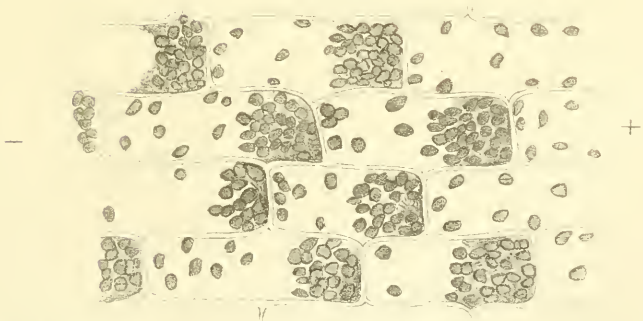
Fig. 4